Zur Entdeckungs... der lichtelektrisc... Erscheinungen ...

Martin Trautscholdt

ZUR ENTDECKUNGSGESCHICHTE

DER

LICHTELEKTRISCHEN ERSCHEINUNGEN.

VON

PROF. DR. MARTIN TRAUTSCHOLDT

OBERLEHRER AM NIKOLAIGYMNASIUM ZU LEIPZIG.

WISSENSCHAFTLICHE BEILAGE ZUM JAHRESBERICHT DES NIKOLAIGYMNASIUMS ZU LEIPZIG.

LEIPZIG 1906.

KOMMISSIONSVERLAG DER DÜRR'SCHEN BUCHHANDLUNG.

1906. Progr. Nr. 676.

Druck von C. Grumbach in Leipzig.

Zur Entdeckungsgeschichte der lichtelektrischen Erscheinungen.

Auf den folgenden Blättern sollen zunächst und hauptsächlich die für unsere Kenntnis der lichtelektrischen Erscheinungen grundlegenden Experimentaluntersuchungen, in erster Linie die von *Hertz*, *Wiedemann* und *Ebert*, *Hallwachs*, *Righi*, *Stoletow*, *Elster* und *Geitel*, ausführlicher besprochen werden, als dies bisher in den zusammenfassenden Darstellungen dieses Gebietes wohl geschehen ist. Erstrebt habe ich dabei engsten Anschluß an die Originalarbeiten und tunlichstes Eingehen auf den Gedankengang jener Forscher, soweit er in ihren Schriften zu Tage tritt. Wie der enge Rahmen einer Programmabhandlung es gebot, habe ich mich im wesentlichen auf eine, und zwar die experimentelle und qualitative Seite der Sache beschränkt, theoretische Betrachtungen dagegen und quantitative Beziehungen nur gelegentlich gestreift; ebenso konnten die für unsere jetzige Auffassung entscheidenden neueren Forschungen, in deren Vordergrunde der Name *Lenard* steht, nur andeutungsweise in Betracht gezogen werden. Die meisten Schulbücher erwähnen die in Rede stehenden Erscheinungen überhaupt nicht, die ausführlichen Lehrbücher der Physik können ihnen aber auch nur verhältnismäßig wenig Raum widmen; deshalb hoffe ich, daß meine anspruchslose Arbeit besonders manchen Amts- und Fachgenossen nicht unwillkommen ist. An solche wendet sich auch die in dem kurzen zweiten Teile gegebene Beschreibung einiger lichtelektrischen Versuche, die sich, namentlich wenn Gelegenheit zur Erzeugung elektrischen Bogenlichtes vorhanden ist, mit sonst recht bescheidenen Mitteln ausführen lassen. Selbstverständlich beabsichtigte ich bei ihrer Ausarbeitung nicht, zu zeigen, wie es gemacht werden muß, sondern nur, wie es gemacht werden k a n n. Die Zusammenstellung und Sichtung der Literatur hat während eines nahezu anderthalbjährigen Zeitraumes meine freie Zeit mehr oder weniger ausgefüllt; die in [ ] gesetzten Nummern im ersten Teile beziehen sich auf das alphabetisch geordnete Literaturverzeichnis, das den dritten Teil der Arbeit bildet.

Eine angenehme Pflicht ist es mir, den Herren Professor Dr. *Des Coudres* und Professor Dr. *Wiener* auch an dieser Stelle für die große Freundlichkeit, mit der sie mir ihre Bibliotheken zur Verfügung stellten, sowie für manche Anregung und Aufklärung herzlich zu danken. Ebenso sage ich meinem lieben Freunde Professor *Kurt Junge* den besten Dank für seine Unterstützung bei der Durchsicht der Druckbogen.

Eine kurze und doch erschöpfende Definition des Ausdruckes „lichtelektrische Erscheinungen" in dem Sinne zu geben, in dem er hier gebraucht wird, ist vorläufig schwer möglich; wir tun vielleicht am besten, uns sofort die drei Hauptformen kurz zu vergegenwärtigen, in denen jene Erscheinungen auftreten. Es sind dies A. die Beeinflussung von selbständigen Entladungen, wie Funken-, Büschel- und Glimmentladungen, durch das Licht, die sich in den meisten Fällen als eine Beförderung der Entladung darstellt; — wir reden dann nach dem Entdecker kurz von Hertz-Effekt; B. die Abgabe negativer Elektrizität seitens negativ geladener Körper unter der Einwirkung des Lichtes, — die lichtelektrische Zerstreuung oder der Hallwachs-Effekt; C. die damit zusammenhängende Erzeugung positiver Elektrizität auf ungeladenen Körpern durch Belichtung, — die lichtelektrische Erregung. Dazu ist zu bemerken, daß unter „Lichtstrahlen" hier nicht nur Strahlen verstanden werden sollen, die dem sichtbaren, sondern auch solche, die dem unsichtbaren Teile des Spektrums, insbesondere dem Ultraviolett, angehören. Gemeinsam ist diesen Vorgängen, daß sie sich erstens lediglich an der Grenzfläche eines festen oder flüssigen Körpers gegen ein Gas (oder gegen das Vakuum) abspielen und zweitens durchweg unipolaren Charakter haben; sie beruhen nach der jetzt herrschenden Ansicht auf der weiterhin unter D. kurz zu besprechenden Emission negativer Elektronen seitens des belichteten Körpers.

I.

A. Die Beeinflussung selbständiger Entladungen durch das Licht (Hertz-Effekt).

Hertz [82] beobachtete im Jahre 1887, als er mit Versuchen über Resonanzerscheinungen zwischen elektrischen Schwingungen beschäftigt war, eine eigentümliche Wechselwirkung zwischen zwei elektrischen Funken. Der Entladungsfunke A eines Induktoriums rief in einem Schwingungskreise einen gleichzeitig auftretenden schwächeren Funken B hervor; es zeigte sich nun, daß die maximale Länge des letzteren merklich kleiner wurde, wenn man ihn zur Erleichterung der Beobachtung mit einem verdunkelnden Gehäuse umgab oder auch nur irgend eine Scheidewand zwischen A und B schob, mochte sie aus Metall oder aus Glas, Paraffin, Hartgummi usw. bestehen. Da andererseits ein Metallgitter jenen scheinbar hemmenden Einfluß nicht zeigte, konnte eine elektrische Schutzwirkung nicht in Frage kommen.

Alsbald stellte *Hertz* fest, daß die ihm zunächst rätselhafte Erscheinung auch eintrat, sobald auf beliebige andere Weise zwei Funken gleichzeitig hervorgerufen wurden. Er schaltete einfach zwei Induktorien hintereinander und betätigte sie durch einen gemeinsamen Quecksilberunterbrecher; das erste, von 10 cm maximaler Schlagweite, lieferte den Funken A, das zweite, von 1 cm maximaler Schlagweite[1]), den Funken B. Am günstigsten erwiesen sich bei A Funken von etwa 1 cm Länge zwischen den Polen eines allgemeinen Ausladers, bei B Fünkchen von knapp 1 mm Länge zwischen den Kugeln eines Funkenmikrometers. Die Funkenstrecken standen in 1 bis $1^1/_2$ m Entfernung parallel einander gegenüber; wurden

[1]) Wenn also von *Donath* (Himmel und Erde **16** (1904), p. 146) gesagt wird, daß zur „klassischen Form" des Hertzschen Experimentes 2 Funkeninduktoren „von möglichst gleicher Größe" gehören, so trifft dies nicht zu.

dann die Kugeln des Funkenmikrometers so weit auseinandergezogen, daß Funken eben noch regelmäßig übergingen, so erloschen sie sofort, wenn man eine Platte, z. B. von Metall oder Glas, zwischen A und B brachte, um beim Wegziehen der Platte ebenso plötzlich wieder aufzutreten. Betrug die Länge des Funkens B bei sehr großer Entfernung der beiden Funkenstrecken 0,8 mm, so wuchs sie bei 50, 40, 30, 20, 10, 5, 2 cm Entfernung bzw. auf 0,9—1,0—1,1—1,3—1,5—1,6—1,8 mm, um nach Einschaltung der Platte jedesmal auf 0,8 mm herunterzugehen. Danach ist klar, daß die Länge des Funkens B nicht sowohl durch die Platte beeinträchtigt, als vielmehr durch den Funken A gefördert wird; die Platte hebt lediglich jenen befördernden Einfluß auf. *Hertz* nennt deshalb A den aktiven, B den passiven Funken.

Während Form und Stärke des aktiven Funkens an seiner Wirksamkeit nicht viel ändern, ist die Wirkung in hohem Maße abhängig von Form und Stärke des passiven Funkens; bei kurzen Funken zwischen Kugeln fand *Hertz* sie am auffälligsten, viel schwächer bei kurzen Funken zwischen Spitzen, während sie bei langen, gezackten Funken zwischen Spitzen ganz verschwand. Die Oberfläche der Kugeln muß glatt und rein sein; ein Einfluß des Materiales (Cu, Messing, Fe, Al, Sn, Zn, Pb) war zunächst nicht nachzuweisen, — allenfalls schien Eisen einen geringen Vorzug zu besitzen.

Die Beziehung zwischen den beiden Funken ist übrigens eine reziproke, die Wirkung des kleinen Funkens auf den großen freilich viel weniger augenfällig. *Hertz* erinnert hier an die Tatsache, daß man die bei zu weit auseinandergezogenen Elektroden eben versagenden Funken eines Induktors wieder hervorzurufen vermag, wenn man der einen Polkugel einen Leiter oder Halbleiter nähert; er hält es „wenigstens für möglich", daß hier die kaum sichtbaren Seitenfünkchen die Rolle des aktiven Funkens spielen. Später [82b, p. 288, Anm. 8] präzisiert er diese Angaben dahin, daß man bei über die maximale Schlagweite auseinandergezogenen Polkugeln einer Influenzmaschine mit eingeschalteten Flaschen regelmäßig einen langen knallenden Funken erhält, so oft man, etwa mit dem Handknöchel, einen kleinen Funken aus dem negativen Konduktor zieht. Er hält die Erscheinung für eine „wohl schon oft beobachtete", hat sie aber in der Literatur nicht erwähnt gefunden[1]); bezüglich der Erklärung erinnert er an *Jaumanns* Untersuchungen über den Einfluß rascher Potentialänderungen auf die Entladung (Wien. Ber. **97** (1888), p. 765 ff.). *Humphreys* [87] beschreibt 1900 die Erscheinung, die er für neu hält, genau in derselben Weise; *von Geitler* macht gleich danach [65] auf die Priorität von *Hertz* aufmerksam.

Durch zahlreiche Versuche wies nun *Hertz* nach, daß die Wirkung des aktiven Funkens auf den passiven sich geradlinig, genau nach den Gesetzen der Lichtfortpflanzung, ausbreitet und sich nur dann äußert, wenn die beiden Funken einander sozusagen „sehen" können; am deutlichsten wird dies, wenn man zwischen den vertikal aufgestellten Funkenstrecken einen Schirm mit senkrechtem Spalte hin und her bewegt. Die Wirkung verschwindet nicht nur im Schlagschatten fremder Körper, sondern auch im Eigenschatten der Polkugeln des passiven Funkens.

---

[1]) In der 3. Auflage der „physikalischen Technik" von *Frick* vom Jahre 1864 steht p. 561: „Geht der Induktionsapparat schwach und man stellt die Spitzen etwas weiter auseinander, als die Funkenlänge beträgt, so daß also keine Funken überspringen, so kann man dieselben hervorrufen, wenn man ein Stückchen Holz oder den Knöchel des Fingers den Enden nähert." Gleiches gilt für die Influenzmaschine; vergl. desselben Buches 6. Auflage (bearb. von *Lehmann*, 1895), Bd. II, p. 542 und 543.

Sie wird völlig gehindert durch die meisten festen Körper, so alle Metalle, Harze, Holz, Papier, Elfenbein, auch durch Glas, so daß das Licht als Ursache ausgeschlossen schien und *Hertz* zweifelhaft war, ob er nicht eine neue Form elektrischer Fernwirkung vor sich hätte. Er selbst sagt (Ges. Werke, Bd. II, p. 4) offen: „natürlich dauerte es einige Zeit, bis ich darauf kam, Versuche mit Platten aus Bergkristall anzustellen"; als er aber doch diesen und andere durchsichtige Körper prüfte, fand er, daß die Wirkung zwar durch Zucker, Alaun, Glimmer, Doppelspat, Steinsalz abgeschwächt wurde, durch Gips dagegen und Bergkristall beinahe ungehindert hindurchging, — durch letzteren noch in Schichten von mehreren Zentimetern Dicke! Von Flüssigkeiten, die in einem Gefäße mit bergkristallenem Boden bei senkrecht übereinander angeordneten (horizontalen) Funkenstrecken untersucht wurden, zeigte sich Wasser am besten durchlässig, während Petroleum, Schwefelkohlenstoff und stark gefärbte Flüssigkeiten, wie Lösungen von Fuchsin oder Kaliumpermanganat, fast oder ganz undurchlässig waren. Was endlich die Gase betrifft, so zeigten schon die bisherigen Versuche, daß Luft kein wesentliches Hindernis bildete; andere Gase wurden in einem beiderseits durch dünne Quarzplatten verschlossenen Glasrohre zwischen die Funkenstrecken gebracht, wobei Leuchtgas und die braunen Dämpfe der Untersalpetersäure die Wirkung beträchtlich hemmten. Wurde die passive Funkenstrecke in einen mit einem Quarzfenster versehenen Rezipienten verlegt, so nahm bei Verdünnung der sie umgebenden Luft die Beeinflussung bis zu einer gewissen Grenze, etwa 10 cm Quecksilberdruck, zu; bei weiter abnehmendem Drucke erhält die Entladung einen anderen Charakter, und eine Wirkung des aktiven Funkens war dann nicht mehr zu erkennen. In Wasserstoff war die Empfindlichkeit des passiven Funkens größer, in Kohlensäure oder Leuchtgas nur etwa halb so groß als in Luft. Die Wirksamkeit des aktiven Funkens änderte sich in verschiedenen Gasen nicht wesentlich.

Eine sehr bemerkenswerte Beobachtung von *Hertz* ist die, daß der hauptsächlich wirksame Teil des passiven Funkens in der Nähe des negativen Poles, der Kathode, liegt; dreht man etwa die passive Funkenstrecke aus der parallelen Lage nach rechts und nach links soweit, bis die Wirkung erlischt, so findet man bei derjenigen Drehung einen größeren Spielraum, bei der dem aktiven Funken die Kathode zugewandt ist. *Hertz* vermochte allerdings, wie er sich vorsichtig ausdrückt, „nicht mit Sicherheit zu entscheiden, ob die Einwirkung ausschließlich oder nur zum größten Teile an der Kathode stattfindet".

Die Wirkung des aktiven Funkens wurde durch einen Spiegel aus Metall, Glas oder Bergkristall genau wie Licht reflektiert. Vor die vertikal aufgestellte Funkenstrecke A brachte der Forscher eine Platte mit senkrechtem Spalte und vor diese den Spiegel; durch Bewegung der gleichfalls vertikal gehaltenen Funkenstrecke B ermittelte er alsdann die Grenzen des Raumes, in dem sich dem Spiegel gegenüber die Wirkung des aktiven Funkens geltend machte. Sie erwiesen sich als völlig scharfe und fielen stets mit den Grenzen desjenigen Raumes zusammen, in dem das Spiegelbild des Funkens sichtbar war.

Endlich stellte *Hertz*, gleichfalls mit Hilfe eines senkrechten Spaltes, eine Brechung der Wirkung des aktiven Funkens durch ein Quarz- oder Steinsalzprisma fest. Dabei wurde der Funke durch Einschalten einer Leidener Flasche stärker leuchtend gemacht, um den vom Lichte erfüllten Raum jenseits des Prismas leichter bestimmen zu können. Für den von der Funkenwirkung erfüllten Raum ergaben sich hierbei keine scharfen Grenzen; er zeigte sich

übrigens stärker abgelenkt als das sichtbare Violett. — Eine Doppelbrechung konnte *Hertz* erst später [82b, p. 289, Anm. 10] konstatieren; einen Einfluß des Polarisationszustandes des Lichtes vermochte er nicht zu erkennen.

Die mitgeteilten Tatsachen berechtigten *Hertz* zu dem Schlusse, „daß bis zum Beweise des Gegenteiles das Licht des aktiven Funkens als nächste Ursache der von ihm ausgehenden Wirkung betrachtet werden müsse"[1]), — allerdings, wie die Durchlässigkeits- und Brechungsversuche zeigen, zunächst nicht das sichtbare Licht, sondern lediglich das ultraviolette von der äußersten Grenze des bis dahin untersuchten Spektrums; das auf einer empfindlichen Trockenplatte aufgenommene Spektrum des aktiven Funkens reichte kaum bis zu der Stelle, an der die stärkste Einwirkung auf den passiven Funken stattfand. Untersuchungen mit anderen Lichtquellen bestätigten jene Annahme: eine Kerzenflamme, Flammen von Gas, Benzin, Alkohol wirkten in etwa 8 cm Entfernung befördernd auf den passiven Funken, eine Wirkung, die durch ein eingeschobenes dünnes Glimmerblättchen aufgehoben wurde, durch eine größere Quarzplatte nicht; bis auf 1 m Entfernung wirksam erwies sich brennendes Magnesium, bei weitem am wirksamsten aber der elektrische Lichtbogen, der noch auf 4 m Entfernung den eben versagenden Funkenstrom zwischen den Kugeln eines Induktors hervorrief, während sein Verlöschen ihn augenblicklich wieder zum Versagen brachte. Mit Bogenlicht konnten die Versuche über die geradlinige Ausbreitung, die Reflexion, Brechung und Absorption der Wirkung fast sämtlich wiederholt werden. Mittels einer Blende wurde gefunden, daß die Wirkung in der Hauptsache von dem schwach leuchtenden eigentlichen Bogen ausgeht, weniger von den weißglühenden Kohlenspitzen. Vom Sonnenlichte erhielt *Hertz* niemals eine unzweideutige Wirkung; die schwache Wirkung, die es bei Konzentration durch eine Quarzlinse lieferte, trat auch bei Verwendung einer Glaslinse ein, sodaß sie *Hertz* der Erwärmung zuzuschreiben geneigt ist. Auch *Garbasso* erklärt später [62] die Wirkung, die nach seiner Angabe *Manuelli* bereits im Jahre 1869 beobachtet hatte, und die er selbst mittels eines Hohlspiegels erhielt, durch Erwärmung, namentlich, da Glimmer und Glas nicht, Alaunlösung aber sehr stark schwächend wirkte.

Die sehr klar und anschaulich geschriebene erste Arbeit von *Hertz* schließt ohne theoretische Betrachtungen mit der Bemerkung, daß es wünschenswert sei, die von ihm entdeckte Lichtwirkung unter einfacheren Bedingungen, insbesondere unter Vermeidung des Induktoriums, zu studieren. Später [82b, p. 289, Anm. 11] gelang es ihm zwar, die Glimmentladung einer Hochspannungsbatterie von 1000 kleinen Akkumulatoren durch Belichtung in Funkenentladung überzuführen bei einem Abstande der Polkugeln, in dem ohne Hilfe des Lichtes keine Funken übersprangen; er wünschte jedoch gerade die Funkenentladung durch einen weniger komplizierten Vorgang zu ersetzen, was dann zuerst *Hallwachs* gelang. —

Noch im Jahre 1887 wurden *Hertz'* Versuche von *E. Wiedemann* und *H. Ebert* [187] mit der Abänderung wiederholt und fortgesetzt, daß die passive Funkenstrecke durch eine Holtzsche Influenzmaschine gespeist und als Lichtquelle ausschließlich durch eine Quarzlinse

[1]) Dementgegen klingt es eigentümlich, wenn *Donath* (Himmel und Erde **16** (1904), p. 148) sagt: „*Hertz* konnte nachweisen, daß es sich weder um ein elektrisches Phänomen, noch um eine bisher unbekannte Wirkung des von dem Funken A ausgehenden Lichtes handelt." Der allgemeine Sprachgebrauch (wenigstens der deutschen Physiker) bezeichnet auch die ultravioletten Strahlen als „Lichtstrahlen". Über die lichtelektrische Wirkung des sichtbaren Lichtes vergl. p. 8 u. 9, bes. p. 22 ff.

konzentriertes Bogenlicht benutzt wurde. War den Funken mittels einer Verzweigung die Wahl zwischen zwei Strecken gelassen und die Einstellung so getroffen, daß sie eben noch die eine bevorzugten, so ging die Entladung sofort auf die andere über, sobald letztere belichtet wurde. Es scheint also durch die Belichtung das zur Entladung einer Funkenstrecke nötige Potential erniedrigt zu werden.

Schon *Hertz* hatte [82a, p. 985] bemerkt, daß bei Entfernungen, in denen der aktive Funke den passiven nicht mehr hervorzulocken vermochte, die Wirkung des ersteren auf einen bereits übergehenden Funkenstrom sich darin äußerte, daß der letztere regelmäßiger wurde. *Wiedemann* und *Ebert* prüften die Wirkung der Bestrahlung auf eine Funkenstrecke bei unausgesetztem Übergange von Funken genauer, indem sie außer der Funkenstrecke entweder eine Geißlersche Röhre, deren Bilder in einem rotierenden Spiegel betrachtet wurden, oder aber ein Telephon in die Leitung einschalteten, dessen Umwickelung aus mit Kautschuk überzogenen Drähten hergestellt war; sie leiteten übrigens den positiven Pol der Influenzmaschine direkt, den negativen über die Funkenstrecke und die Geißlersche Röhre bzw. das Telephon hinweg zur Erde ab. Beide Methoden, die optische und die akustische, zeigten, daß durch Belichtung der (2 mm langen) Funkenstrecke die Anzahl der Entladungen pro Sekunde im Verhältnisse von 3 zu 4 vermehrt wurde; im Telephon z. B. hörte man bei Belichtung einen reinen Ton, der um eine Quart höher war, als der sonst vorhandene mehr geräuschähnliche. — *Merritt* demonstriert später [113] jene Vermehrung sehr hübsch mit Hilfe einer rotierenden Geißlerschen Röhre, die bei Bestrahlung der Funkenstrecke viel häufiger aufleuchtet. — Übrigens erkennt das Auge direkt, daß der unruhige und unstete Übergang der Elektrizität in einer nichtbelichteten Funkenstrecke, der sich im Vorhandensein scheinbar mehrerer hin und her springenden Funkenbahnen äußert, bei Belichtung zu einem ruhigen, geregelten in Gestalt eines einzigen geradlinigen Lichtfadens wird.

Es sollte nunmehr die schwerwiegende, von *Hertz* nur vorläufig beantwortete Frage entschieden werden, welcher Teil der passiven Funkenstrecke als Angriffspunkt für die Lichtwirkung zu betrachten sei. Die Funkenstrecke, gebildet aus Platinkugeln von 3 mm Durchmesser, wurde in ein Glasrohr eingeschlossen, das an einer Seite in der Höhe der Kugeln ein Quarzfenster besaß. Die Kugeln wurden bis auf 20 mm auseinandergezogen, so daß nur eine von beiden dem Quarzfenster gegenüberstand, während die andere durch die Glaswand der Röhre vor der Einwirkung des ultravioletten Lichtes geschützt blieb. Es zeigte sich ganz unzweideutig, daß lediglich die Belichtung der negativen Elektrodenkugel, der Kathode, die besprochenen Wirkungen hervorrief, die der positiven Elektrode aber oder der Luftstrecke zwischen den Elektroden ohne jeden Einfluß blieb.

Eine Versuchsreihe, bei welcher der Druck des die Funkenstrecke umgebenden Gases vermindert wurde, ergab, daß die lichtelektrische Wirkung erst wächst, bei einem Drucke zwischen 400 und 200 mm Quecksilber ihr Maximum erreicht und dann wieder abnimmt. Ist [188] der Druck so weit gesunken, daß sich Kathodenstrahlen ausbilden, so ist absolut kein Unterschied mehr zwischen dem Verhalten der nichtbelichteten Funkenstrecke und dem der belichteten zu erkennen. — In Wasserstoff und namentlich in Kohlensäure zeigte sich die Einwirkung des Lichtes noch deutlicher als in Luft. Bei der Verwendung von Kohlensäure konnte sogar mit einiger Sicherheit festgestellt werden, daß auch sichtbares Licht, nicht ausschließlich die

ultravioletten Strahlen, die Erscheinung hervorbringt. Vorsetzen und Wegziehen einer Glasplatte nämlich änderte den Charakter der Entladung weniger, als das eines Brettes; überdies trat aber bei vorgesetzter Glasplatte, wenn also die ultravioletten Strahlen abgeschnitten waren, eine merkliche Änderung ein, wenn außerdem noch die sichtbaren Strahlen durch das Brett abwechselnd abgeschnitten und zugelassen wurden. Versuche mit gefärbten Gläsern und Gelatineplatten führten zu dem Schlusse, daß bei Kohlensäure die wirksamen Strahlen zwischen den Linien G und K des Sonnenspektrums liegen, mithin ziemlich weit in das sichtbare Gebiet hineinreichen.

Wiedemann und *Ebert* untersuchten ferner das Verhalten verschiedenartiger Kathoden bei der Belichtung; sie fanden [188] von allen Metallen Pt am empfindlichsten für die lichtelektrische Wirkung [vergl. *Zendig* 195], Zn und Cu noch merkbar, Fe, Al, Pd, Ag wenig empfindlich. — Flüssigkeiten, die als Kathode dienen sollten, wurden in ein U-förmig gebogenes Rohr gefüllt, dessen kürzeren Schenkel ein Kapillarrohr bildete; der Flüssigkeitskuppe, die auf diesem durch Füllung des längeren und weiteren Schenkels bis zu einer gewissen Höhe erzeugt wurde, stand als Anode eine abgerundete Aluminiumspitze gegenüber. Alle gefärbten, das Licht stark absorbierenden Flüssigkeiten erwiesen sich als wirksam, am kräftigsten Nigrosinlösung; die schwache Wirkung von reinem Wasser wurde durch geringe Verunreinigungen wesentlich verstärkt. Da auch Pt ein verhältnismäßig hohes Absorptionsvermögen für ultraviolette Strahlen besitzt, erschien ein Zusammenhang zwischen lichtelektrischer Empfindlichkeit und Absorption des Ultraviolett wahrscheinlich; Bedecken des sonst wenig empfindlichen Silbers mit Nigrosinlösung steigerte erstere erheblich (vergl. p. 29).

Im Anschlusse hieran sei bemerkt, daß *E. Wiedemann*, damals gestützt auf die Vermutung, daß den Kathodenstrahlen Undulationsbewegungen zu Grunde lägen, die lichtelektrische Wirkung als eine Resonanzerscheinung aufzufassen geneigt war, bei der die Lichtschwingungen infolge der Absorption in der oberflächlichen Schicht der Kathode Schwingungen auslösten, wie sie den Kathodenstrahlen entsprächen. Dieser Gedanke sollte sich später (s. p. 42) als sehr fruchtbar erweisen.

Bereits *Hertz* machte [83, p. 169] darauf aufmerksam, daß die Belichtung den Charakter der Funkenentladung noch in anderer Weise beeinflußt. Der Funke verliert nämlich die Fähigkeit, schnelle elektrische Schwingungen zu erregen; die in einem sekundären Leiter induzierten Funken oder die Funken in einem an den Entladungskreis angeschlossenen Nebenkreise erlöschen, sobald man in der Nähe des primären Funkens ein Stück Magnesiumdraht abbrennt, eine elektrische Bogenlampe anzündet oder eine zweite Entladung einleitet. Dieser störende Einfluß des ultravioletten Lichtes auf einen Funken, der zur Erregung *Hertz*scher Schwingungen dienen soll, wird auch von *Classen*[1]), der die Ursache in der Zerstäubung der Kathode (s. p. 41) sucht, und von *Apt*[2]) betont, desgleichen von *Ebert* und *Wiedemann* [36], die den Grund in einer sehr vermehrten Dämpfung der Schwingungen im sekundären Kreise finden und gleichfalls auf die Zerstäubung der Kathode Bezug nehmen. —

Eine überraschende Erscheinung beobachteten 1890 *Elster* und *Geitel* [41], als sie die Entladungen einer Influenzmaschine zwischen einer Kugel aus beliebigem Metalle als Anode und

[1]) Wiedem. Ann. 39 (1890), p. 648.

[2]) Beibl. 21 (1897), p. 437.

einer amalgamierten Zinkscheibe (s. p. 24) als Kathode überspringen ließen und letztere belichteten. Bei den ersten Versuchen wurden die Polstäbe der Maschine mit den Armen eines Henleyschen Ausladers verbunden, von denen der positive eine Messingkugel B von 1,4 cm, der negative eine frisch amalgamierte kreisförmige Zinkscheihe B' von 15 cm Durchmesser trug; die Polkugeln A und A' der Maschine selbst wurden soweit auseinandergezogen, daß (bei eingeschalteten Leidener Flaschen) zwischen B und B' Funken von 6 bis 10 cm Länge überschlugen. Wurde nun B' mit brennendem Magnesiumband belichtet, so setzte der Funkenstrom sofort aus, um nach Erlöschen der Magnesiumflamme augenblicklich wieder aufzutreten. Waren die Funkenstrecken AA' und BB' so abgeglichen, daß die Funken nur eben BB' bevorzugten, so verließen sie beim Belichten BB' und erschienen bei AA', wobei AA' im Schatten oder im Lichte liegen konnte. Diese auffallende „Hemmung“ der Entladung durch das Bestrahlen hörte auf, wenn zwischen die Lichtquelle und die Scheibe B' ein Schirm aus Metall, Holz oder Glas geschoben wurde, wogegen klare Gipsplatten und dünne Glimmerblätter keinen Einfluß hatten. Die Verbrennung des Magnesiums wurde des störenden Rauches wegen unter einem Abzuge vorgenommen; Funkenlicht erwies sich, wohl infolge seiner Intermittenz, als nicht verwendbar; Sonnenlicht lieferte eine immerhin wahrnehmbare Wirkung. Elektrisches Bogenlicht, mit dem sich die Versuche leicht wiederholen lassen, hatten die Experimentatoren nicht zur Verfügung. Außer amalgamiertem Zn konnten als empfindliche Kathodenfläche auch dienen frisch abgeschmirgeltes Zn, amalgamiertes Messing, endlich Cu, auf dem schwach natriumhaltiges Quecksilber verrieben war.

Später, 1896, veröffentlichten dieselben Forscher [54] eine einfachere Versuchsanordnung: man setzt auf die negative Polstange der Influenzmaschine eine auf der Vorderseite frisch amalgamierte Zinkscheibe und zieht die positive Polkugel soweit zurück, daß kräftige Zickzackfunken überschlagen. Im Momente der Belichtung macht das lebhafte Funkenspiel einer völligen Stille Platz, um beim Verlöschen oder Entfernen der Lichtquelle sofort wieder einzusetzen. Hat man die Kondensatoren der Maschine ausgeschaltet und (ev. nach Wegnahme der positiven Polkugel von ihrem Stabe) ein prasselndes Lichtbüschel erzeugt, so verschwindet auch dieses während der Dauer der Belichtung. — Hier bewirkt also Bestrahlung der Kathode das Gegenteil von dem, was man nach den sonstigen Erfahrungen hätte erwarten sollen. Unsere Autoren vermuteten, daß in diesem Falle die sicht- und hörbare Entladung unter dem Einflusse des Lichtes durch eine still und mehr stetig verlaufende ersetzt würde. Sorgten sie dafür, daß das Licht nur die Kathodenfläche traf, beschatteten das Auge durch einen Schirm und betrachteten die beschattete Anodenkugel gegen einen schwarzen Hintergrund, so sahen sie in der Tat, daß bei Bestrahlung der Zinkkathode die soeben noch aus der Anodenkugel hervorbrechenden Funken oder Büschel einer Schicht violetten Glimmlichtes Platz machten. Statt des Magnesiumlichtes wurde mit Vorteil eine wenig blendende Flamme von Schwefelkohlenstoff, die mit Sauerstoff angeblasen wurde, verwendet. Ein zwischen die beiden Elektroden geschobenes geerdetes Drahtnetz störte den geschilderten Wechsel der Entladungsformen beim Belichten nicht, wohl aber eine mit kleiner Öffnung versehene Glasplatte oder ein durchlochtes Blatt paraffinierten Papiers. Wurde eine isoliert aufgestellte Lanesche Maßflasche zwischen den negativen Konduktor der Maschine und die Zinkscheibe geschaltet, so konnte nachgewiesen werden, daß im Lichte bei Glimmentladung weniger Elektrizität von der Anode zur Zinkscheibe geht, als im

Dunkeln bei Büschelentladung. Die hieraus zu folgernde Potentialsteigerung auf den Elektroden bei Belichtung wurde durch das Verhalten kleiner Korkkugelpendel, die auf die Elektroden gesetzt waren, bestätigt, namentlich an der Kathode. — *Sella* stellte [150] entsprechende Untersuchungen an für den Fall, wo durch Belichtung die Entladung begünstigt wird; er schaltete parallel zur passiven Funkenstrecke eine Platindrahtspirale, bestimmte mittels eines Rießschen Luftthermometers aus deren Erwärmung die jedesmalige Verteilung der Entladung auf die beiden Zweige und fand, daß bei Belichtung der Kathode die Wärmeentwicklung im Platindrahte geringer war, daß also mehr Elektrizität in der Funkenentladung übergeführt wurde.

Klemenčič [93] wiederholte den Versuch, bei dem ein Induktionsfunke den in einem sekundären Leiter erregten Funken beeinflußt, mit demselben Erfolge wie *Hertz*, wobei er beide Funkenstrecken mit größeren Zinkplatten armierte[1]); ersetzte er die Kugeln der sekundären Funkenstrecke durch stumpfe Spitzen, so sprangen zwischen diesen bei Belichtung durch den primären Funken keine Funken mehr über auf eine Entfernung, in der sie dies bei dazwischengestelltem Schirme noch taten. Dagegen glaubt *Károly* [91], daß die Wirkung eines Funkens auf den anderen unabhängig von der Form der Elektroden in der passiven Funkenstrecke ist. — Nach *Sella* und *Majorana* [153] sind Förderung und Hemmung des Funkenüberganges in bestimmter Weise an die Größe der Funkenstrecke gebunden: Bestrahlung der Kathode vergrößert die Schlagweite, wenn der Abstand der Polkugeln klein ist im Verhältnisse zu ihrem Durchmesser; dagegen soll ultraviolettes Licht größere Schlagweiten verringern, wenn es auf die positive Elektrode fällt. *Garbasso* [61] beschreibt ein elektrolytisches und ein hydrodynamisches Modell, um jene Vorgänge nachzuahmen; er spricht von der Hemmung als von „*Sella* und *Majorana*scher Erscheinung", obwohl die erste Veröffentlichung von *Elster* und *Geitel* 6 Jahre älter ist, als die von *Sella* und *Majorana*. *Stragliati* [164] findet im Gegensatze zu den eben Genannten, daß nur die Bestrahlung der negativen Elektrode für kleine Schlagweiten die Entladung befördert, für größere sie erschwert; die „neutrale Schlagweite", bei der keine Einwirkung stattfindet, wächst mit abnehmendem Krümmungsradius der Kathode. *Lebedinsky* gibt [99] an, daß sich Influenzmaschinen- und Induktorfunken unter Umständen entgegengesetzt verhalten, betont übrigens [100] auch den Einfluß der Länge der Funkenstrecke. Nach *Precht* [126] spielt die Ergiebigkeit der Elektrizitätsquelle eine Hauptrolle; wahrscheinlich wirkt auch die Änderungsgeschwindigkeit des Elektrodenpotentials mit. — Hierher gehörige theoretische Erörterungen findet man bei *Kaufmann* [92]. —

Wir kehren zu der allgemeineren Erscheinung, der Beförderung der Entladung durch das Licht, zurück und geben noch einige von späteren Beobachtern gefundene Einzelheiten. Nicht nur die Funkenentladung, sondern auch das Ausströmen der negativen Elektrizität aus Spitzen wird nach *Precht* [125] durch ultraviolettes Licht begünstigt, wie seine Messungen sogar für Sonnenlicht zeigen; konzentrierte er das Licht von Induktionsfunken, die zwischen Zinkspitzen übersprangen, durch eine Quarzlinse auf eine amalgamierte Zinkspitze, so begann das Ausströmen der negativen Elektrizität bei einer um 800 Volt, d. h. um 7 Prozent, niedrigeren Spannung. Einschaltung einer Glasscheibe zwischen Linse und Spitze hob diese Wirkung auf.

---

[1]) Abbildung s. ZS. f. phys. u. chem. Unt. 10 (1897), p. 93.

Elster und *Geitel* [48] sahen, in einem gewissen Gegensatze zu *Wiedemann* und *Ebert* (s. p. 8), auch in stark verdünnten Gasen eine Art von Hertz-Phänomen eintreten, wenn die Kathode aus blankem K oder Na bestand. Der Rezipient, in dem sich die Elektroden befinden, bedarf wegen der sehr großen lichtelektrischen Empfindlichkeit der Alkalimetalle (p. 25) keines Quarzfensters. Man macht die blanke Metallfläche zur Kathode des Öffnungsstromes eines Induktors und schaltet als Nebenschließung eine Funkenstrecke in freier Luft ein. Bei einem Drucke von etwa 0,01 mm Quecksilber im Rezipienten wird man es erreichen können, daß in der Nebenschließung ein Funkenstrom von 1 bis 4 mm Länge übergeht. Dieser setzt aus, und die Entladung nimmt ihren Weg durch den Rezipienten, sobald z. B. Sonnen- oder auch nur Tageslicht auf die Alkalimetallfläche fällt. — *Baker* fand [6] entsprechend, daß in einer Vakuumröhre mit polierter Zinkkathode die Bestrahlung der letzteren das zur Entladung nötige Potential von 558 auf 510 Volt herabsetzte.

Daß nicht nur das ultraviolette, sondern auch das sichtbare Licht unter Umständen wirksam ist, hatten bereits *Wiedemann* und *Ebert* gefunden (s. p. 8). *Warburg* zeigte später, daß sowohl durch Spiegelglas filtriertes Bogenlicht [183, p. 13], als durch die Fensterscheiben filtriertes Tageslicht [l. c., p. 11] noch merklich wirkt. Bei *Zendig* [195] findet sich die auffallende und mit fast allen sonstigen Beobachtungen im Widerspruche stehende Angabe, daß die lichtelektrische Wirkung mit der Wellenlänge des Lichtes wächst!

Eine Abhängigkeit des Effektes von der Lage der Polarisationsebene bei polarisiertem Lichte konnte weder *Hertz* (s. p. 7), noch *Wanka*, noch *Zendig* [195] feststellen; ebensowenig fanden *Elster* und *Geitel* [52b, p. 696] bei verschiedenen Einfallswinkeln (0° und 50°) einen Unterschied der Wirkung, der beim Hallwachs-Effekte recht deutlich ist (s. p. 31). Wohl aber berichtet *Blondlot* im Jahre 1903 [14] über die Belichtung einer Funkenstrecke, in der möglichst schwache rötliche Fünkchen von einigen Hundertstel mm Länge überspringen, folgendes: das durch Reflexion an einer Glasplatte polarisierte Licht von kräftigen, zwischen Aluminiumspitzen erzeugten Funken bewirkt, daß die kleinen Fünkchen sofort in hellerem, weißem Glanze aufleuchten, wenn die Polarisationsebene senkrecht zu der kleinen Funkenstrecke ist; der Einfluß fällt weg, wenn Funkenstrecke und Polarisationsebene einander parallel sind. Es ist dies wohl einer von den Versuchen, aus denen *Blondlot* nachher auf die Existenz der „N-Strahlen" geschlossen hat. —

Fragen wir endlich, worin eigentlich das Wesen der Lichtwirkung auf selbständige elektrische Entladungen bestehe, so gibt es darauf verschiedene Antworten. *Borgmann* [15] und *Homén* [84] nahmen an, ein gewisser „Übergangswiderstand", der an der Grenze zwischen Luft und elektrisch geladenem Körper vorhanden ist, werde durch die Belichtung vermindert. Die verbreitete Auffassung, daß die Bestrahlung die zum Eintritte der Funkenentladung nötige Potentialdifferenz der Elektroden, kurz das „Entladungspotential" oder „Funkenpotential" genannt, herabsetze, ist im vorhergehenden mehrfach erwähnt worden; auch *Zendig* [195] findet z. B., daß jenes zwischen den Grenzen 500 und 15000 Volt durch Belichtung um etwa 5 Prozent erniedrigt wird. Dazu ist zu bemerken, daß exakte quantitative Bestimmungen des Entladungspotentials durch verschiedene Umstände erschwert werden.[1]) So tritt die Entladung in der

[1]) Vergl. *Kohlrausch*, Lehrbuch der praktischen Physik, 9. Aufl. (1901), p. 519.

Regel nicht sofort nach dem Anlegen der dazu nötigen Potentialdifferenz an die Elektroden, sondern erst nach einer gewissen Zeit ein, — eine Erscheinung, die als „Verspätung" oder „Verzögerung" bekannt ist und eingehend von *Jaumann* und *Warburg* studiert wurde. Sie äußert sich u. a. darin, daß bei plötzlich und nur auf ganz kurze Zeit angelegter Potentialdifferenz keine Entladung erfolgt, auch wenn jene mehrere Male so groß ist, als eine solche, die bei langsamer Elektrizitätszufuhr und genügendem Warten die Entladung sicher hervorruft; das „dynamische Entladungspotential" erscheint somit größer als das „statische".

Nach *Jaumann* hängt der Eintritt der Funkenentladung bei gegebener Schlagweite überhaupt nicht von einer bestimmten Potentialdifferenz, sondern wesentlich vom Vorhandensein rascher, kleiner Potentialschwankungen ab. *Wanka* [182] wiederholte auf *Jaumanns* Anregung hin die *Hertz*schen Versuche mit zwei Funkenstrecken und meint nun, daß Potentialschwankungen, die der passiven Funkenstrecke durch die Luft hindurch „zugestrahlt" werden, ebenso wirken, wie die ihr von der Elektrizitätsquelle her zugeführten; *Jaumann* glaubt sogar, die quantitative Übereinstimmung der Kraftschwankungswirkung mit der *Hertz*schen Lichtwirkung dartun zu können [88]. Übrigens fand *Wanka* einen beträchtlichen Einfluß der gegenseitigen Orientierung der beiden Funkenstrecken (ob parallel zu einander, senkrecht zu einander oder einander verfehlend) und bezeichnet deshalb seine Experimente als eine Nachahmung der Polarisation des Lichtes mit rein elektrischen Mitteln.

Swyngedauw [165, 168 usw.] dagegen glaubt, daß das Funkenpotential unabhängig von raschen Potentialschwankungen, also konstant ist, falls jede Spur ultravioletten Lichtes abgeblendet wird. Ultraviolettes Licht aber wirkt nach seiner Ansicht sehr verschieden auf das dynamische und das statische Funkenpotential, die im Dunkeln einander gleich sind; es erniedrigt nämlich das erstere viel mehr als das letztere, indem nach einem von *Swyngedauw* aufgestellten Gesetze [167] diese Erniedrigung durch ultraviolette Bestrahlung „eine wachsende gerade Funktion der Geschwindigkeit der Potentialänderung im Augenblicke des Funkenüberganges" ist. Wenn bei *Jaumanns* Versuchen Potentialschwankungen allein schon das Entladungspotential herabsetzten, so ist nach *Swyngedauws* Meinung [169, p. 546] stets ultraviolettes Licht vorhanden gewesen, mochte es auch nur von Ausstrahlungen aus den Leitungsdrähten oder dergl. herrühren.

Auf einem anderen Standpunkte steht *Warburg* [183]; bestrahlt man die Kathode, so wird nach ihm nicht das Entladungspotential herabgesetzt, sondern lediglich die Verzögerung vermindert bzw. aufgehoben; der Funke springt alsdann über, sobald das Potential auf einen gewissen, genau bestimmbaren Wert gesteigert ist, mag letzteres langsam oder rasch geschehen. Diesen bei bestrahlter Elektrode gefundenen Wert des Entladungspotentials betrachtet *Warburg* als den normalen, von passiven Widerständen nicht beeinflußten. Eine Erscheinung, die zunächst zu gunsten der *Swyngedauw*schen Auffassung spricht, ist folgende: wird das Potential der einen Elektrode (die andere sei zur Erde abgeleitet) sehr rasch gesteigert, z. B. durch plötzliche Verbindung mit der inneren Belegung einer geladenen Leidener Flasche, so tritt bei ultravioletter Bestrahlung die Entladung oft schon ein, wenn das Potential der Flasche erheblich niedriger ist, als das bei langsamem Ansteigen zur Entladung nötige! Diese Herabsetzung des dynamischen Funkenpotentials durch die Bestrahlung ist aber, wie *Warburg* zeigt [186], nur scheinbar, da sich bei diesen Versuchen die Funkenstrecke unter gedämpften Oszillationen ladet, bei denen

die Potentialdifferenz der Elektroden zeitweise einen höheren Wert als das Flaschenpotential, im extremen Falle den doppelten, annimmt. Machte *Warburg* durch Einschalten von Widerstand den Ladungsvorgang aperiodisch, so verschwand die scheinbare Erniedrigung des Funkenpotentials, stellte sich aber wieder ein, wenn durch Anschalten einer Selbstinduktion wieder Schwingungen hervorgerufen wurden. Übrigens glaubt *Warburg* [184] in der Wirkung eines Magnetfeldes auf die Funkenentladung einen Beweis dafür gefunden zu haben, daß in der Verzögerungsperiode ein schwacher elektrischer Strom stattfindet, der sich freilich auf andere Art nicht nachweisen läßt.

Demgegenüber hält *Swyngedauw* [170] die Existenz einer Verzögerung überhaupt noch nicht für genügend bewiesen in dem Falle, daß die Elektroden frei von jeder oberflächlichen Unreinigkeit sind; wie starkes Abschmirgeln die Verzögerung und damit den Unterschied zwischen dynamischem und statischem Potential sehr herabdrückt, so würden wahrscheinlich höchst vollkommen polierte Elektroden in freier Luft gar keine Verzögerung zeigen.

Warburgs Angaben wurden von *Orgler* [124] bestätigt, der die Verzögerung in Wasserstoff besonders gering findet, sodaß der Unterschied zwischen Bestrahlung und Nichtbestrahlung mehr und mehr zurücktritt. In Luft und noch deutlicher in Kohlensäure macht sich ein Einfluß der Lichtintensität auf die Verminderung der Verzögerung geltend. Weitere hierher gehörige Betrachtungen sehe man bei *Guthe* [68], *Kaufmann* [92], *Guggenheimer* [67]. *H. Starke*[1]) vergleicht die Wirkung des ultravioletten Lichtes mit der analogen der Röntgenstrahlen.

Eine höchst interessante und vielversprechend aussehende Anwendung des *Hertz*schen Phänomens machte im Jahre 1898 *Zickler* in Brünn bekannt in Gestalt der lichtelektrischen Telegraphie. Als Hauptvorzüge derselben vor der sonst so genannten „drahtlosen Telegraphie" (Funkentelegraphie) bezeichnet er erstens die Möglichkeit, Signale nur nach einer ganz bestimmten Richtung zu geben, und zweitens die Unmöglichkeit, daß diese Signale von einem unberufenen Dritten mitgelesen oder auch nur bemerkt werden; den letzteren Vorteil, die absolute Wahrung des Depeschen-Geheimnisses, bietet auch die sonst wohl übliche optische Telegraphie nicht. Wir greifen aus der ausführlichen Darstellung *Zicklers* [196][2]) das Wesentlichste heraus, namentlich auch, um zu zeigen, daß sich das Prinzip seines Verfahrens mit recht einfachen Mitteln demonstrieren läßt (vergl. p. 46).

Auf der Sendestation befindet sich in einem drehbaren Gehäuse die Bogenlampe; die aus einer Öffnung des Gehäuses austretenden Lichtstrahlen sind ev. durch einen Hohlspiegel und eine Quarzlinse parallel gemacht. Vor der Öffnung ist ein Verschluß aus Glas angebracht, der auf pneumatischem Wege entfernt und wieder vorgeschoben werden kann. Das Strahlenbündel tritt auch bei verschlossener Öffnung aus, da die sichtbaren Strahlen das Glas durchdringen; die wirksamen ultravioletten Strahlen werden jedoch absorbiert, und an der Empfangsstation, nach der hin die Strahlen gerichtet sind, erfolgt noch keine lichtelektrische Wirkung.

---

[1]) Wiedem. Ann. 66 (1898), p. 1009 ff.

[2]) Für freundliche Überlassung des betr. Bandes der Elektrotechnischen ZS. bin ich Herrn Ingenieur *Eisenstuck* hierselbst zu Danke verpflichtet.

In eine dort aufgestellte Glasröhre[1]) ragen seitlich die Elektroden hinein, — eine Platinkugel von wenigen mm Durchmesser als Anode und ein schrägstehendes Platinscheibchen als Kathode. Vor einer die Glasröhre vorn verschließenden Quarzplatte befindet sich eine Quarzlinse, deren Brennpunkt auf die Platinscheibe fällt. Wie in der Verwendung des Platins, so machte sich *Zickler* die Untersuchungen von *Wiedemann* und *Ebert* (s. p. 8) auch darin mit vollem Vorbedachte zu nutze, daß er die Luft in dem Empfangsrohre bis auf etwa 200 mm Quecksilberdruck verdünnte. Das zur Speisung der Funkenstrecke zwischen Kugel und Scheibe benutzte Induktorium besaß nur 2 bis 3 cm maximale Schlagweite, die indessen, entsprechend den Erfahrungen von *Hertz*, niemals voll ausgenutzt wurde; *Zickler* gab vielmehr von vornherein den Elektroden eine Entfernung von nur etwa 5 mm und bewirkte durch Einschalten von Widerstand in den Primärkreis des Induktors, daß die Funken eben nicht mehr übersprangen.[2]) Zur Aufnahme eines Telegrammes muß der Induktor im Gange sein; die sichtbaren Lichtstrahlen fallen auf die Kathode, lösen jedoch noch keine Funken aus. Wohl aber geschieht letzteres durch die ultravioletten Strahlen, sobald der Glasverschluß des Senders geöffnet wird; durch kürzeres oder längeres Offenhalten werden Funkenströme erzeugt, die kürzere oder längere Zeit andauern, entsprechend den Punkten und Strichen des Morse-Alphabetes. Die Zeichen sind aus der Nähe deutlich sichtbar und können durch ein in den Funkenstromkreis eingeschaltetes, gut isoliertes Telephon noch deutlicher hörbar gemacht werden, lassen sich auch unter günstigen Umständen direkt auf eine elektrische Klingel übertragen. Stellt man nahe dem Empfangsrohre einen Kohärer samt Klopfer auf, so wird er durch die überspringenden Funken betätigt; mittels eines Relais erfolgt dann die Übertragung der Zeichen auf den Morse-Apparat, wie bei der gewöhnlichen Funkentelegraphie. Allerdings sind infolge des Entstehens der Funken im luftverdünnten Raume die durch sie erregten elektrischen Wellen schwach, so daß man auf gehörige Empfindlichkeit des Kohärers bedacht sein muß. — Betont sei nochmals, daß einem Beobachter des die Zeichengebung vermittelnden Strahlenbündels oder Strahlenkegels diese Zeichengebung selbst, auch bei Nacht, vollständig verborgen bleibt, weil die Strahlen durch sie keine für das Auge bemerkbare Intensitätsänderung erfahren.

Lehrreich ist es, die allmähliche Vervollkommnung der *Zickler*schen Methode und ihrer Ergebnisse zu verfolgen. Mit einer kleinen Bogenlampe von 10 Amp., einem Induktor von 5 cm Schlagweite (mit Quecksilberunterbrecher) und einer Funkenstrecke von 5 mm Länge zwischen Messingkugeln von 25 mm Durchmesser in freier Luft kam man nicht über 2 m Entfernung. Diese wurde durch Vorsetzen einer Quarzlinse von 4 cm Durchmesser und 15 cm Brennweite vor die Kathode auf 10 m vergrößert. Einen wesentlichen Fortschritt brachte die Verwendung der oben beschriebenen Platinelektroden in verdünnter Luft, in Verbindung mit dem an derselben Stelle erwähnten kleineren Induktor (mit Wagnerschem Hammer); die Quarzlinse befand sich vor der Kathode; dagegen fehlten an der Bogenlampe, die allerdings mit 26 Amp. brannte und deren Lichtbogen 10 mm lang war, alle Linsen und Hohlspiegel.

[1]) Eine Abbildung des Zicklerschen Empfangsrohres findet man in der ZS. für phys. u. chem. Unterr., 12 (1899), p. 44.

[2]) Die Angabe: „Der Abstand zwischen den Elektroden wird etwas größer gemacht als die größte Funkenlänge, die der Induktionsapparat zu liefern imstande ist" bei *Righi* u. *Dessau* („Die Telegraphie ohne Draht", Braunschweig 1903, p. 433) ist hiernach zu berichtigen.

Zickler kam bis auf 50, 100 und am 6. Mai 1898 bei trübem und feuchtem Wetter bis auf 200 m. Später konnte er in Nürnberg einen Schuckertschen Scheinwerfer mit einem parabolischen Hohlspiegel von 80 cm Durchmesser und 20 cm Brennweite benutzen, wobei der Lichtbogen durch einen Strom von 60 Amp. erzeugt wurde. Die Kohlenstäbe lagen horizontal in der Spiegelachse, so daß nur die vom Spiegel reflektierten Strahlen zur Geltung kamen. Die Zeichengebung gelang auf 60 m Entfernung, als die Funkenstrecke ohne Quarzlinse sich in freier Luft befand; auf 450 m dagegen bei 340 mm Druck in dem mit Quarzlinse versehenen Empfangsrohre, und zwar bei hellem Sonnenscheine. Am 6. Oktober endlich wurde bei 200 mm Druck im Empfangsrohre eine Entfernung von 1300 m überwunden.

Zickler hebt den günstigen Umstand hervor, daß gerade an jenen Orten, an denen in Zukunft die drahtlose Telegraphie die häufigste Anwendung finden dürfte, nämlich auf Leuchttürmen, Schiffen, in Festungen oder dergl., meist schon Scheinwerfer vorhanden sind, die unschwer für die Zwecke der lichtelektrischen Telegraphie nutzbar gemacht werden könnten. Leider ist von weiteren Versuchen in der Öffentlichkeit nichts bekannt geworden.

Im Anschlusse hieran sei noch eines Versuches von *Sella* [151] gedacht, bei dem es sich um eine Übertragung des Schalles vermittels der lichtelektrischen Wirkung handelt. Schaltet man nach *Wiedemanns* und *Eberts* Vorgang in den Entladungskreis einer Influenzmaschine ein kleines Funkenintervall und ein Telephon ein, so entsteht in letzterem bei tätiger Maschine ein Ton, dessen Höhe steigt, wenn auf die Kathode der Funkenstrecke ultraviolettes Licht fällt (s. p. 8). Erfolgt die Bestrahlung mit Unterbrechungen, so ändert sich die Tonhöhe periodisch; ist diese Periode kurz genug, so tritt an Stelle des ursprünglichen Tones ein neuer, eine Art von Kombinationston, auf. Geschieht die intermittierende Belichtung durch eine rasch rotierende Scheibe hindurch, so hat der erzeugte Ton dieselbe Höhe wie der, den die Scheibe geben würde, wenn man sie als Sirene anbliese; geschieht jene dagegen durch ein an der Membran des *Scott*schen Phonautographen angebrachtes Spiegelchen, so ist der im Telephon auftretende Ton der nämliche wie derjenige, durch den die Membran des Phonautographen in Schwingungen versetzt wird. Man hat also eine wirkliche Schallübertragung, die man mit Zuhilfenahme der Induktion einem größeren Auditorium hörbar machen kann. Übrigens soll in unmittelbarer Nähe der Kämme der Influenzmaschine während des Versuches der gleiche Ton bemerkbar sein.

B. Die lichtelektrische Zerstreuung (Hallwachs-Effekt).

Ausgehend von den *Hertz*schen Beobachtungen und bestrebt, die Versuchsbedingungen möglichst zu vereinfachen, untersuchte *Hallwachs* die Einwirkung des elektrischen Bogenlichtes auf elektrostatisch geladene Körper; er gelangte [69; die Mitteilung ist vom 20. Dezember 1887 datiert] noch im Jahre 1887 zu überraschenden Ergebnissen. Eine blankgeputzte Zinkscheibe von 8 cm Durchmesser hing an einem isolierenden Stative und war durch einen Draht mit einem Goldblattelektroskope verbunden. Wurde nun die Platte samt dem Elektroskope negativ elektrisch geladen, so begannen, sobald die Strahlen einer Bogenlampe die Platte (nicht das Elektroskop) trafen, die Goldblättchen lebhaft zusammenzufallen; bei positiver Ladung trat ein Zusammenfallen auf den ersten Blick gar nicht, bei genauerem Zusehen erst nach längerer Zeit

in merklichem Betrage ein. Mit Hilfe eines Beetzschen Elektroskopes, auf dessen einer Glasplatte eine Teilung aufgetragen war, fand *Hallwachs* z. B., daß bei 70 cm Abstand der negativ geladenen Platte vom Lichtbogen die Divergenz der Goldblättchen in 5 Sekunden um 70 % abnahm und nach 10 Sekunden ganz verschwand, während die positiv geladene Platte in 60 Sekunden nur eine Abnahme von 10 % ergab. Dabei stand zwischen Zinkplatte und Lichtquelle ein großer Schirm aus Zinkblech mit einem Fenster aus Marienglas, das den Strahlen den Durchgang verstattete. Die Wirkung konnte bis zu 3 m Entfernung beobachtet werden und war ohne jenen Schirm noch beträchtlicher. Während Marienglas dieselbe nur wenig schwächte, — Bergkristall übrigens noch weniger —, hoben Metalle, Pappe usw. jede Abnahme der Divergenz auf, ebenso Glimmer von 0,09 mm und Glas von 2,5 mm Dicke. Die Durchlässigkeit des Marienglases wurde durch Benetzen mit Wasser nicht vermindert, durch Benetzen mit Petroleum oder mit einer Höllensteinlösung aber aufgehoben; auch Leuchtgas zeigte Absorption. Ein dichtes Messingdrahtnetz wirkte nur wenig hemmend. Diese letzteren Resultate sind im wesentlichen den von *Hertz* gefundenen analog.

Hallwachs stellte ferner mittels einer um 45° gegen den Gang der Lichtstrahlen geneigten reflektierenden Fläche fest, daß die entladende Wirkung von Bergkristall stark, von Glimmer und belegtem Glase weniger, aber auch von Postpapier noch merklich reflektiert wurde; war die Fläche dagegen mit schwarzem Papiere bedeckt, so fand innerhalb 60 Sekunden keine merkliche Entladung statt.

Wurde mittels eines Quarzprismas das Spektrum des elektrischen Lichtes zum Teile auf die Zinkplatte geworfen, so bewirkten die ultraroten und die äußersten roten Strahlen keine Abnahme der Ladung; die ultravioletten Strahlen brachten in einer Minute die Goldblättchen zum Zusammenfallen, doch lieferte auch das sichtbare Spektrum mit Ausnahme des äußersten Violett in derselben Zeit noch eine Divergenzabnahme von 15 %. Den ultravioletten Strahlen kommt also der Hauptanteil der Wirkung zu, während die sichtbaren Strahlen einen weit geringeren Einfluß haben. Magnesiumlicht in 24 cm Entfernung erzeugte binnen 30 Sekunden eine Divergenzabnahme von 60 %, wirkte aber nach Wegnahme des Marienglasfensters auch noch bei 40 cm Abstand. Kerzenlicht erwies sich als unwirksam.

Die Ursache der beobachteten Erscheinungen konnte nicht in elektrostatischen Kräften gesucht werden, da auch Magnesiumlicht sie hervorbrachte; ebensowenig in einer Verschlechterung der Isolation, weil sonst die positive Elektrizität in gleicher Weise hätte zerstreut werden müssen, wie die negative. Etwa vom Lichtbogen weggeschleuderte materielle Teilchen kamen nicht in Frage, wie die Versuche mit dem Marienglasfenster und den absorbierenden Platten bewiesen; gegen eine Erklärung durch Temperaturerhöhung sprach die Unwirksamkeit der roten und ultraroten Strahlen.

Während *Arrhenius*, gestützt [1] auf die Versuche von *Hertz* und [2] auf eigene, allerdings nur mit verdünnter Luft angestellte Messungen, vermutete, daß die Luft bei ultravioletter Bestrahlung besser leitend würde als im gewöhnlichen Zustande, konnte *Hallwachs* nachweisen, daß die Erscheinung durch eine Wirkung des ultravioletten Lichtes auf die Oberfläche der negativ geladenen Körper bedingt wird. Gegen die Erklärung durch eine Veränderung der Luft beim Bestrahlen sprach schon der unipolare Charakter des Phänomens; *Hallwachs* bestätigte die Richtigkeit seiner Ansicht durch folgenden Versuch: zwei Metallplatten wurden in

3 cm Entfernung einander gegenübergestellt und jede mit einem Elektroskope leitend verbunden. Als nun die eine Platte negativ geladen, die andere erst zur Erde abgeleitet, dann wieder isoliert wurde, zeigten die Elektroskope innerhalb 60 Sekunden keine Änderung ihrer Einstellung; eine solche trat auch dann nicht ein, wenn das aus 1 m Entfernung kommende Bogenlicht den Raum zwischen den Platten bis dicht an die Flächen heran bestrich. Erst eine kleine Drehung der negativen Platte in dem Sinne, daß die Strahlen nicht mehr mit ihr parallel liefen, sondern schräg auf sie auftrafen, führte einen schnellen Verlust ihrer Ladung herbei.

Den Einfluß der Oberflächenbeschaffenheit der belichteten Platte prüfend, fand *Hallwachs* die Wirkung bei einer mit feinstem Schmirgelpapier frisch abgeputzten Zinkplatte etwa 40 bis 50 mal so stark als bei einer solchen, die längere Zeit an der Luft gelegen hatte. Weniger empfindlich als Zink erwies sich Eisen, noch weniger Aluminium.

Schließlich wurde mit Hilfe zweier gegeneinander geneigten Platten, die beide schräg von den Lichtstrahlen getroffen wurden, gezeigt, daß eine nahezu ebenso große Elektrizitätsmenge, wie sie von der negativ geladenen Platte (einer blanken Kupferplatte) weggeht, auf der anderen, vorher unelektrischen Platte (einer Goldplatte mit alter Oberfläche) auftritt; die Belichtung wirkt ähnlich, wie die Verbindung beider Platten durch einen dünnen isolierten Draht. War vorher die Goldplatte positiv geladen, so ging auch die auf der Kupferplatte influenzierte negative Elektrizität bei Belichtung zur Goldplatte über.

Das Ergebnis der Versuche ist, daß die Oberflächen negativ elektrischer blanker Metallplatten bei der Belichtung eine solche Änderung erleiden, daß negativ elektrische Teilchen von ihnen weggehen und den elektrostatischen Kräften des Feldes folgen können. Wir bezeichnen diese Wirkung des Lichtes als „lichtelektrische Zerstreuung" oder nach dem Entdecker als „Hallwachs-Effekt".

Noch in neuester Zeit sah sich *Hallwachs* (Physikal. ZS. **6** (1905), p. 376—377) genötigt, die Priorität seiner Entdeckung zu betonen, und zwar gegenüber den Worten: „die von *Hertz* entdeckte entladende Wirkung des ultravioletten Lichtes auf negativ geladene Metallflächen" in einer Arbeit von *Schaefer* (l. c., p. 265). Ähnliche Unrichtigkeiten fand ich bei *Schlabach* (Über den elektrischen Leitungswiderstand loser Kontakte, Düsseldorf 1901, Schulprogr. no. 534, p. 16): „die von *Hertz* beobachtete Erscheinung, daß ein mit negativer Elektrizität geladener Konduktor unter dem Einflusse des ultravioletten Lichtes seine Ladung verliert", und bei *Donath* (Himmel und Erde **16** (1904), p. 148): „daß zunächst durch Bestrahlung negative Ladung frei gemacht wird, ein Faktum, dem *Hertz* bereits volle Beachtung schenkte". *Hertz* selbst spricht [82 b, p. 289, Anmerk. 11] jene Entdeckung ausdrücklich Herrn *Hallwachs* zu!

Eine neue Versuchsanordnung erdachte *Righi*, indem er [127] einer Metallscheibe A ein Drahtnetz B in sehr geringer Entfernung gegenüberstellte und A mit dem einen, B mit dem anderen Quadrantenpaare eines Quadrantenelektrometers, B außerdem mit der Erde, verband. Die Nadel des Elektrometers war durch 100 Kupfer—Wasser—Zink-Elemente geladen. Belichtete er dann A durch B hindurch, so erhielt er eine bleibende Ablenkung (vergl. p. 33), die sich nicht änderte, wenn plötzlich A von B entfernt wurde. Daraus schloß *Righi*, daß die Bestrahlung beide Metalle auf gleiches Potential gebracht habe, daß demnach jene Ablenkung

„in absolutem Maße die Kontaktpotentialdifferenz zwischen A und B messe“. Er vereinigte auch mehrere solche „photoelektrische Elemente“ zu einer Säule, die die bekannten Erscheinungen einer Voltaschen Säule bei geöffnetem Stromkreise zeigte (vergl. hierzu p. 21 u. 22). Später [137] verwandte *Righi* seine Methode dazu, nicht nur die Kontaktpotentialdifferenzen zwischen verschiedenen Metallen, sondern auch deren etwaige Änderung in verschiedenen Gasen zu bestimmen.

Der ersten Note *Righis* vom 4. März 1888 folgte eine solche von *Stoletow* in Moskau, datiert vom 25. März [157]; dieser war, völlig unabhängig von *Righi*, gleichfalls auf die Idee gekommen, eine massive Metallplatte durch ein parallel dazu aufgestelltes Metallnetz hindurch zu belichten. Er verband aber erstere mit dem negativen, letzteres mit dem positiven Pole einer galvanischen Batterie (von 1 bis 100 Elementen) und schaltete in den so gebildeten Stromkreis, der allerdings durch die Luftschicht zwischen Platte und Netz unterbrochen war, ein empfindliches Galvanometer ein. In dem Augenblicke nun, wo die Platte durch das Netz hindurch von den Strahlen einer Bogenlampe getroffen wurde, schlug das Galvanometer aus und zeigte durch bleibende Ablenkung einen konstanten Strom an, den *Stoletow* als „aktinoelektrischen Strom“ bezeichnet. Um solche Ströme in verschiedenen Gasen und bei verschiedenen Drucken studieren zu können, gab *Stoletow* seinem „Netzkondensator“ folgende Einrichtung [159]: ein schellackierter Glaszylinder von 46 mm Höhe und 87 mm äußerem Durchmesser ist einerseits durch eine in einem Metallringe sitzende Quarzplatte (es war ein besonders schönes Exemplar von 69 mm Durchmesser und 5 mm Dicke), andererseits durch ein Metallstück verschlossen, in dem sich eine Mikrometerschraube dreht. Das innere Ende der letzteren trägt eine versilberte Messingscheibe, die dem Quarze beliebig nahe gebracht werden kann und als negative Armatur des Kondensators dient; die positive Armatur oder das Netz wird durch die Quarzplatte gebildet, die auf der inneren Fläche versilbert und nach Art eines Beugungsgitters geritzt ist. Bei manchen Versuchen wurde [162] vor oder neben den Hauptkondensator noch ein Kontrollkondensator in Form eines Kreuzes gestellt, der von demselben Strahlenbündel getroffen wurde; beide Kondensatoren waren mit Galvanometern von gleicher Schwingungsdauer verbunden. Der zweite blieb im übrigen in konstanten Verhältnissen, sodaß die Änderungen des von ihm gelieferten Galvanometerausschlages lediglich von Intensitätsschwankungen des Lichtbogens herrührten; nach seinen Angaben wurden die Beobachtungen am Hauptkondensator korrigiert.

Da auf *Stoletows* Untersuchungen in späteren Arbeiten nicht selten zustimmend Bezug genommen wird [s. u. a. *Rutherford* 142; *Townsend* 176; *Stark* 156], seien einige der von ihm für den photoelektrischen Strom gefundenen Gesetze hier zusammengestellt. Bezeichnet i die Stromstärke, E die wirksame elektromotorische Kraft, d. h. die Potentialdifferenz der Elektroden, l die Entfernung der letzteren voneinander, p den Gasdruck, so ist zunächst i proportional der Größe der belichteten Fläche [157, 163] und der Menge der wirkenden Strahlen [163, p. 743 ff.], wie *Stoletow* durch teilweises Zudecken der ersteren bezw. mittels Beleuchtung durch eine rotierende Sektorenscheibe hindurch fand. Ferner wächst [159, 162] cet. par. mit abnehmendem p die Stromstärke i erst sehr langsam, dann schneller, bis zu einem gewissen „kritischen Drucke“ p_m von etwa 3 bis 4 mm Quecksilber (bei dem sie 4 bis 6 mal so groß ist als bei gewöhnlichem Drucke), um alsdann wieder abzunehmen, wobei sie indes nicht $= 0$ wird, sondern sich einer endlichen Grenze nähert. Der kritische Druck hängt von E und l

derart ab, daß er dem Quotienten $\frac{E}{l}$ proportional, daß also $\frac{p_m \cdot l}{E} = \text{Const.}$ ist. Ändert man [160, 162] bei gewöhnlichem Drucke innerhalb gewisser Grenzen E und l gleichzeitig so, daß der Quotient $\frac{E}{l}$ konstant bleibt, so ändert sich die Stromstärke nicht, d. h. i ist eine Funktion der durch $\frac{E}{l}$ gemessenen Ladungsdichte oder der „elektrischen Kraft“ [1]) auf den Belegungen. Bei größerer Verdünnung dagegen kompensiert die Annäherung der Armaturen die Verminderung der elektromotorischen Kraft E nicht mehr, so daß mit abnehmender [2]) elektromotorischer Kraft und in demselben Verhältnisse abnehmendem Abstande, wobei also $\frac{E}{l}$ konstant bleibt, die Werte von i kleiner werden. Endlich wächst [162] sowohl bei gewöhnlichem als bei sehr niedrigem Drucke i im allgemeinen langsamer als E und nähert sich mit wachsendem E einer Art von Sättigung; bei mittlerem Drucke, namentlich in der Nähe des kritischen Druckes (s. o.), tritt dies nicht ein.

Entsprechend steigt nach *Righi* [140] der „Koeffizient der photoelektrischen Dispersion“, d. h. das Verhältnis der in 1 Sekunde von der Flächeneinheit des beleuchteten Leiters ausstrahlenden Elektrizitätsmenge zu der elektrischen Dichtigkeit daselbst, bei Verdünnung des Gases bis zu einem Maximum, um dann wieder zu sinken; der Druck, bei dem jener Koeffizient ein Maximum wird, ist wesentlich der gleiche, bei dem der Widerstand des Gases gegen eine elektrische Entladung ein Minimum ist. Ferner wächst, wenn eine negativ geladene Zinkscheibe durch ein Metallnetz hindurch beleuchtet wird, der Koeffizient bemerkenswerterweise innerhalb gewisser Grenzen mit dem Abstande der beiden Leiter, und zwar um so stärker, je stärker die Ladung der Zinkscheibe ist, und je näher der Gasdruck dem eben besprochenen „kritischen Drucke“ liegt.

Werfen wir noch einen Blick auf spätere Untersuchungen über die Abhängigkeit des lichtelektrischen Stromes oder der lichtelektrischen Zerstreuung von der Potentialdifferenz der Elektroden! *Dufour, Dutoit* und *Hofer* [33] fanden, daß der Elektrizitätsverlust einer amalgamierten Zinkkugel zwischen 50 und 25 Volt schnell abnimmt, über 50 Volt aber schneller wächst, als es der Potentialzunahme entspricht. *Elster* und *Geitel* hatten [50, p. 632 und 633] bereits 1893 darauf hingewiesen, daß, wenn man bei Verwendung einer Kaliumzelle (s. p. 26) die Potentialdifferenzen als Abszissen, die Galvanometerausschläge für eine konstante Lichtintensität als Ordinaten einer Kurve darstellt, diese Kurve eine Asymptote parallel der Ordinatenachse haben muß; für eine endliche Potentialdifferenz durchfließt der Strom der Batterie unabhängig vom Lichte (mit vergleichsweise unendlich großer Intensität) die Zelle. Vor allem *Kreusler* [95] zeigte 1898, daß die Intensität des Photostromes, die bei niederen Potentialen mit wachsendem Kathodenpotentiale langsam zunimmt, bei einer gewissen Annäherung an das Funkenpotential rascher anwächst und zu außerordentlich hohen Werten gelangt, sodaß die den Verlauf charakterisierende Kurve zuletzt fast senkrecht emporsteigt. Die Resultate *Kreuslers* wurden durch *v. Schweidler* [146] bestätigt; in einer evakuierten Kaliumzelle ergab

[1]) Elektrische Kraft = Potentialgefälle; vergl. Wüllners Lehrbuch der Experimentalphysik (5. Aufl.), Bd. III, p. 415; Rieckes Lehrbuch der Physik (2. Aufl.), Bd. II, p. 69; s. auch Abendroths Leitfaden der Physik (3. Aufl.), Bd. I, p. 58 u. 59.

[2]) Im Referate (Beiblätter 15 (1891), p. 284) steht versehentlich „zunehmender“.

sich [145] die Stromstärke bis zu etwa 2 Volt Potentialdifferenz als proportional der letzteren, stieg dann langsamer als diese bis ungefähr 70 Volt, hierauf rascher, so daß die Kurve einen Wendepunkt besitzt. Später [148] zeigte *v. Schweidler* überdies, daß der Gang der Stromstärke verschieden ist für weißes und blaues Licht einer-, rotes und gelbes andererseits, indem bei blauer Beleuchtung die Stromstärke mit wachsender Spannung rascher anstieg, als bei gelber oder roter. *Varley* [179], der als Lichtquelle den elektrischen Funken zwischen Eisenelektroden in Wasserstoff benutzte, erhielt in dem Druckbereiche von 760 bis 1 mm keine wahren Sättigungsströme, fand aber doch, daß der mittlere Teil der betr. Kurve weniger steil verlief. Bezüglich der Theorie, die zur Erklärung des raschen Ansteigens der Stromkurve bei sehr hohen Feldintensitäten die Ionisierung des Gases durch „Ionenstoß" heranzieht, mag u. a. auf die Arbeiten von *Townsend* [176] und *Stark* [156] verwiesen werden.

Bei den Erörterungen über die Abhängigkeit der Stärke des aktinoelektrischen Stromes von der Potentialdifferenz der Kondensatorbelegungen hatte *Stoletow* [163, p. 764] zunächst angenommen, daß letztere ausschließlich durch die elektromotorische Kraft E der Batterie bestimmt wird, die den Kondensator ladet. Aber jene Potentialdifferenz ist nur dann lediglich durch E bestimmt, wenn beide Armaturen aus demselben Metalle bestehen; anderenfalls ist sie $= E \pm M/M'$, wo M/M' die Kontaktpotentialdifferenz zwischen den beiden Metallen M und M' bedeutet. Die Promptheit, mit der *Stoletows* empfindliches Galvanometer die aktinoelektrische Wirkung schon bei kleinem E anzeigte, veranlaßte ihn, zu untersuchen, ob jener Summand oder Subtrahend M/M' bei der aktinoelektrischen Wirkung eine Rolle spielte, und ob er etwa schon allein, ohne Batterie, bei Belichtung der Elektroden einen Strom erzeugen könnte. *Stoletow* bildete zunächst einen Kondensator aus einer Zinkplatte Z und einem Messingdrahtnetz L; als er erstere durch 1 bis 3 Daniells negativ lud, fand er, daß die Hinzufügung des zweiten Elementes die von einem einzigen gelieferte Stromstärke unverhältnismäßig, auf mehr als das Doppelte, steigerte. Dies wird erklärlich, wenn als elektromotorische Kraft in diesen Fällen nicht 1, 2 3 Daniell, sondern 1 D. — Z/L, 2 D. — Z/L, 3 D. — Z/L angesehen wird. Nimmt man i als proportional zur gesamten e. K. an, so kann man aus diesen Beobachtungen die Kontaktpotentialdifferenz Z/L berechnen; *Stoletow* fand sie = 0,64 Volt, ziemlich entsprechend anderweitigen Bestimmungen.[1]) Nach Entfernung der Batterie erhielt *Stoletow* beim Belichten von Z durch L hindurch keinen Strom; dies war natürlich, da hier das Netz aus elektronegativerem Metalle (L) besteht als die Platte (Zn), sodaß letztere positiv und deshalb für die Strahlenwirkung unempfindlich wird. War jedoch das Netz aus einem höher elektropositiven Metalle hergestellt (eine vielfach durchlöcherte Zinkscheibe) als die Platte (versilbertes Messing, also Ag), so lieferte die Kombination Ag/Zn bei der Bestrahlung einen meßbaren Strom. Das System Ag/Luft/Zn verhält sich also bei der Belichtung des Silbers wie ein galvanisches Element, wobei die Luft die Stelle des Leiters zweiter Klasse vertritt. Wurde in diese Kette noch 1 Daniell eingeschaltet und die Stromstärke wieder gemessen, so konnte abermals auf die Größe der elektrischen Differenz Zn/Ag geschlossen werden, indem vorher $E_1 = Zn/Ag$, jetzt $E_2 = 1\ D. + Zn/Ag$ ist; *Stoletow* erhielt dafür 1,02 Volt.[1]) Auch für andere Metalle führte diese interessante galvanometrische Methode zur Messung von Kontaktpotentialdifferenzen auf Zahlen, die in der Nähe

[1]) *Wüllner*, l. c., p. 498: Zn/Cu = 0,65 Volt bis 0,848 Volt; Zn/Ag = 1,021 Volt (nach *Hallwachs*).

der sonst allgemein angenommenen liegen. — Eine durch Sonnenlicht erzeugte „photoelektromotorische Kraft“ beobachteten später [48, p. 287 u. 289] *Elster* und *Geitel* in ihrer Kaliumzelle (s. p. 26); *Ladenburg* bildete [97, p. 572] ein „lichtelektrisches Element“, indem er eine Cu- und eine Al-Elektrode (zwischen beiden befand sich eine dritte, geerdete Elektrode) in einer Vakuumröhre gleichzeitig bestrahlte. —

Es soll nunmehr die Abhängigkeit des Hallwachs-Effektes von einer Reihe anderer Faktoren besprochen werden, und zwar richten wir unser Augenmerk in erster Linie auf die Natur der Kathode und die Wellenlänge des Lichtes, da beide Gesichtspunkte nur schwer von einander zu trennen sind.

Hallwachs hatte als geeignetste Belichtungsart die vom Kohlenlichtbogen gelieferte ultraviolette Strahlung und als lichtelektrisch empfindlichsten Körper frisch geputztes Zink verwendet. *Righi* erzeugte [134] den Lichtbogen, um seine Wirkung zu verstärken, mittels einer Lampe, in der ein 3 mm dicker Zinkstab zwischen 2 großen, ihn abkühlenden Eisenmassen gegen eine Kohle verschoben wurde; *Stoletow* fand [157] Al, das als Docht in die Kohle eingeführt war, noch wirksamer, wenngleich dadurch die Regelmäßigkeit des Lichtbogens gestört wurde. Auch *Hallwachs* benutzte später [71] Kohlen mit einer Seele von Al, Zn oder Sn.

Großes Interesse erregte von Anfang an die Frage nach einer etwaigen Wirkung des Sonnenlichtes. *Righi* [132, 136] fand niemals eine solche und schrieb dies dem Umstande zu, daß die Atmosphäre die wirksamen Strahlen absorbiert; brachte er zwischen eine Bogenlampe und das bestrahlte Metall eine 30 cm lange, mit Gipsplatten verschlossene Röhre, so wurde die lichtelektrische Wirkung merklich stärker, wenn er die Luft in der Röhre verdünnte. Auch *Stoletow* [163, p. 731] erhielt mit Sonnenlicht keinerlei Wirkung. Im Gegensatze zu beiden sorgfältigen Beobachtern steht *Hoor* [86]. Als er bei hohem Sonnenstande (im Juni) das Sonnenlicht „durch einen belegten Spiegel“ auf eine negativ geladene Metallplatte „konzentrierte“, fand er eine Abnahme der Ladung um 6 bis 7%, in direktem Sonnenlichte eine etwas größere [l. c., p. 105]. Leider gibt er nicht an, aus welchem Metalle diese Platte bestand. *Hoor* hatte übrigens [l. c., p. 103 ff.] im Bogenlichte bei Cu und Messing eine stärkere Abnahme als bei Zn erhalten, was gleichfalls sonstigen Beobachtungen widerspricht.

Im Jahre 1889 begannen *Elster* und *Geitel* [38, 39, 40] ihre erfolgreichen Untersuchungen über diesen Gegenstand und waren überrascht, als sie sahen, daß bei geeigneter Wahl der metallischen Oberfläche nicht nur das Sonnenlicht, sondern selbst das zerstreute Tageslicht lichtelektrisch wirksam ist. Sie stellten im Garten eine abgeschmirgelte Zinkschale von 20 cm Durchmesser isoliert auf und verbanden sie durch eine wohlisolierte Drahtleitung mit einem Quadrantenelektrometer, das in dem im Erdgeschosse gelegenen Laboratorium stand. Die Schale befand sich in einem zylindrischen Metallgefäße, das durch einen horizontal verschiebbaren Deckel mittels einer Schnur vom Laboratorium aus geöffnet oder geschlossen werden konnte; der Einfluß der atmosphärischen Elektrizität wurde durch ein zwischen Schale und Deckel eingeschaltetes geerdetes Drahtnetz beseitigt. Die Resultate der am 30. Mai ausgeführten ersten Messungen seien hier mitgeteilt. Die Schale hatte eine negative Ladung von 388 Skalenteilen; es ergab sich in

	1	2	3	Minuten
bei Belichtung durch Sonnenlicht: eine Abnahme von	96	171	215	Skalenteilen,
ohne Belichtung: „ „ „	33	62	83	„

Eine positive Ladung von 494 Skalenteilen ergab in denselben Zeiten

belichtet: Abnahmen von	21	42	62	Skalenteilen,
unbelichtet: „ „	21	41	60	„

Auffallenderweise ist die Abnahme der negativen Ladung sogar bei geschlossenem Deckel größer, als die der positiven bei geöffnetem. Daß dies eine Folge von Neben- und Seitenlicht war, zeigte sich, als der nicht lichtdicht schließende Deckel durch einen zylindrischen Aufsatz ersetzt wurde, der die Schale in absolutem Dunkel hielt. Dann ergaben sich bei einer negativen Ladung von 481 Skalenteilen: mit Horizontaldeckel Abnahmen von bzw. 25, 45, 65, mit Aufsatz solche von 13, 24, 31 Skalenteilen. Damit war nachgewiesen, daß frisch abgeschmirgeltes Zn selbst gegen zerstreutes Tageslicht empfindlich ist! Um größere Spannungen verwenden zu können, wurde das empfindliche Quadrantenelektrometer durch ein Exnersches Elektroskop ersetzt, das samt der Zinkschale durch eine trockene Säule eine Ladung von + oder — 175 Volt erhielt. Ein Versuch am 2. Juni lieferte folgende Zahlen:

	I. negative Ladung von 175 Volt:			II. positive Ladung von 175 Volt:		
Zeit:	$^1/_2$	1 Min.		$^1/_2$	1 Min.	
Abnahme: belichtet:	150	175	Volt	0	3	Volt.
Abnahme: unbelichtet:	10	15	Volt	5	6	Volt.

Bei negativer Anfangsladung war sogar schon nach 40 Sek. eine deutliche Divergenz des Elektroskopes nicht mehr zu erkennen. Als die Sonne nachmittags den Apparat verlassen hatte, wurden die Versuche mit Tageslicht wiederholt und lieferten entsprechend schwächere, doch immerhin noch beträchtliche Divergenzabnahmen.

Frisch abgeschmirgelte Oberflächen von Al und Mg wirkten ebenso kräftig wie Zn; befestigte man am Knopfe des Exnerschen (bequem transportabelen) Elektroskopes einen Aluminiumdraht von 30 cm Länge, so nahm auf freiem Felde im Sonnenlichte die Spannung von 200 Volt in noch nicht 2 Sek. auf Null ab. Sie machte, wenn das Elektroskop emporgehalten wurde, einer hohen positiven Spannung (bis zu 150 Volt) Platz; letztere ist aber nicht die Folge der Belichtung an sich, sondern die einer Einwirkung der atmosphärischen Elektrizität, indem eine mit dem Elektroskope verbundene isolierte Flamme fast genau dieselbe Divergenz erzeugte, wie ein 20 cm langer, horizontal gerichteter Aluminiumdraht, so daß letzterer sich im Sonnenlichte wie ein Flammen- oder Wasserkollektor verhielt. Um von jener Einwirkung frei zu bleiben, brachte man fortan den zu belichtenden Körper im Inneren eines zur Erde abgeleiteten Drahtnetzes unter; obgleich dieses einen Teil der Lichtstrahlen auffängt, ging doch im hellen Sonnenscheine die Entladung so schnell vor sich, daß man, um sie messend zu verfolgen, Aluminiumdrahtstückchen von nur etwa 10 mm Länge anwenden durfte. Eine verhältnismäßig kräftige Wirkung des Sonnenlichtes und sogar des diffusen, durch Glas gegangenen Tageslichtes auf eine sorgfältig geputzte und negativ geladene Aluminiumplatte beobachtete später auch *Branly* [22, 23].

Für die Messungen erwies es sich als recht störend, daß die Oberflächenbeschaffenheit und damit die Entladungszeit eines Metalles sich während der Belichtung rasch änderte, indem z. B. eine frisch abgeschmirgelte Zinkfläche schon nach 5 Minuten auf die Hälfte ihrer Empfindlichkeit herunterging. *Elster* und *Geitel* kamen [39], um jenem Übelstande zu begegnen und der

Oberfläche immer die gleiche Beschaffenheit zu geben, auf den glücklichen Gedanken, eine jedesmal frisch amalgierte Zinkkugel zu benutzen; da zeigte sich, daß amalgamiertes Zink alle bisher verwendeten Metalle an lichtelektrischer Wirksamkeit übertraf. Eine solche Kugel von 3 cm Durchmesser entlud das mit ihr verbundene und bis zum Maximum negativ geladene Elektroskop lediglich unter dem Einflusse des blauen Himmelslichtes vollständig, brachte auch im Sonnenscheine die Spannung am negativen Pole einer Zambonischen Säule sofort auf ein Minimum. Gestützt auf die durch besondere Versuche als brauchbar nachgewiesene Hypothese, daß der Koëffizient der Zerstreuung der negativen Elektrizität eine lineare Funktion der Intensität des wirksamen Lichtes ist, konstruierten *Elster* und *Geitel* ihr „elektrisches Aktinometer" [49], mittels dessen sie umfassende Versuche zur Photometrie der ultravioletten Sonnenstrahlung, über die Abhängigkeit des Potentialgefälles an der Erdoberfläche von derselben und ihre Absorption in der Erdatmosphäre anstellten. Auf die Folgerungen, die sie daraus für die Theorie der Luftelektrizität ziehen zu können glaubten, kann hier nicht eingegangen werden [s. u. a. 44, 37, 63, 49, 64; vergl. auch *Gockel* 66]. Eine verbesserte Form des Zinkkugelphotometers wird 1904 [60] beschrieben.

Einen neuen leitenden Gedanken fanden [39] die unermüdlichen Forscher in dem Umstande, daß die Metalle Mg, Al und Zn, die sich für Sonnen- und Tageslicht empfindlich zeigten, in der Voltaschen Spannungsreihe mit am weitesten nach der positiven Seite zu stehen[1]); sie suchten demgemäß die Verwendung von Kalium und Natrium, die noch mehr elektropositiv sind, für lichtelektrische Zwecke zu ermöglichen. Dabei hatten sie mit der Schwierigkeit zu kämpfen, daß bei diesen Metallen in freier Luft eine blanke Oberfläche nicht herstellbar ist; bei ihren flüssigen Amalgamen, auf deren Anwendung die Experimentatoren durch die starke Wirkung des amalgamierten Zinkes geführt wurden, muß die Oberfläche mindestens in steter Erneuerung begriffen sein. Sie lösten daher geringe Mengen des Alkalimetalles in Quecksilber auf und ließen die Flüssigkeit in feinem Strahle aus einem gläsernen Tropfgefäße in eine isoliert aufgestellte Pappschachtel fließen; das ausgeflossene Metall wurde, um Tropfensammlerwirkungen zu verhindern, mit demjenigen im Tropfgefäße und mit dem Elektroskope durch einen Eisendraht verbunden. Bei positiver Ladung ergab sich keine Einwirkung des Lichtes auf den oberen, blanken Teil des Flüssigkeitsstrahles, bei negativer Ladung aber eine überraschend starke; am 2. Oktober 1889 bei stark verschleiertem Sonnenlichte und einer Spannung von — 195 Volt verlor der Apparat seine Ladung, mit Hg + Na beschickt, in 10 Sek., mit Hg + K gar schon in 5 Sek. vollständig, während mit Hg + Zn die Spannung in 15 Sek. erst auf — 116 Volt herunterging. Nimmt man, da reines Hg keine Wirkung gibt, an, daß das im Hg gelöste Metall das wirksame Agens ist, so ordnen sich die untersuchten Metalle nach ihrer lichtelektrischen Empfindlichkeit in folgende Reihe: K, Na, (Mg, Al), Zn, Sn; diese Reihe fällt genau mit der Voltaschen Spannungsreihe zusammen! Gips schwächte die Wirkung des Tageslichtes wenig, gewöhnliches Fensterglas und blaues Glas taten dies in höherem Grade, rotes Glas hob sie auf. Übrigens ließ Glimmer die Wirkung des Sonnen- und Himmelslichtes mehr hindurch, als es nach den Beobachtungen mit Bogen- und Funkenlicht zu erwarten war.

---

[1]) S. z. B. *Starke*, experimentelle Elektrizitätslehre (1904), p. 91.

Um den beträchtlichen photoelektrischen Effekt des K- und des Na-Amalgames durch Vergrößerung der wirksamen Oberfläche (eine solche Vergrößerung war bei den flüssigen Strahlen nicht gut tunlich) besser auszunutzen, schlugen *Elster* und *Geitel* 1890 ein anderes Verfahren ein [42]. Sie stützten sich dabei auf die Tatsachen, daß sich einerseits bei abnehmendem Gasdrucke die lichtelektrische Empfindlichkeit eines Metalles beträchtlich erhöht, und daß andererseits das Na-Amalgam im Vakuum seine reine Oberfläche und damit seine Reaktionsfähigkeit längere Zeit bewahrt. Dieses wurde also in einen bis zur äußersten erreichbaren Grenze evakuierten zylindrischen Glasrezipienten gebracht, wo es den unteren von 2 an den Enden eingeschmolzenen Platindrähten bedeckte; zwischen diesen ragte noch ein beständig geerdeter Platindrahtring in den Rezipienten. Der von dem Amalgame bedeckte Draht wurde mit einem Goldblattelektroskope verbunden. So vorgerichtet nahm der Apparat im Sonnen- oder hellen Tageslichte statische negative Ladungen überhaupt nicht an; beim Annähern eines geriebenen Hartgummistabes sah man höchstens ein Aufzucken der Blättchen, beim Entfernen aber ein Auseinanderfahren derselben mit positiver Elektrizität, wie wenn das Elektroskop vorher leitend berührt worden wäre; diese positive Ladung wurde auch im intensivsten Sonnenlichte beibehalten. Verbindung des zum Amalgame führenden Drahtes und des Elektroskopes mit dem negativen Pole einer Zambonischen Säule von rund 200 Volt freier Spannung, deren positiver Pol mit dem Drahtringe und der Erde verbunden war, bewirkte eine Divergenz der Blättchen, die sich beim Belichten sofort verkleinerte oder auch ganz verschwand; Beschattung eines Teiles der Amalgamfläche genügte, um die Divergenz wieder zu vergrößern. Der Apparat besitzt keinerlei Quarzfenster oder dergl.; das vom Glase durchgelassene Licht, dem also die Strahlen größter Brechbarkeit fehlen, erweist sich als völlig ausreichend. Später [45] verbesserten *Elster* und *Geitel* ihre „lichtelektrische Zelle“, indem sie einen hantelförmigen Rezipienten[1]) verwendeten, in dessen einer Kugel sich das flüssige Na-Amalgam bei Nichtgebrauch befindet; durch Neigen des Gefäßes wird es in die andere Kugel geschafft, wobei es eine im Zwischenstücke befindliche trichterförmige Filtriervorrichtung passiert und eine blanke Oberfläche bekommt. Die Elektroden ragen in die zweite Kugel hinein, die eine, die vom Amalgame bedeckt wird, von unten, die andere von der Seite; die erste Kugel ist mit undurchsichtigem Lacke, das in einem Halter festzuklemmende Zwischenstück mit Schellackfirnis überzogen. Der Rezipient wird bis auf einige Hundertstel mm Quecksilberdruck evakuiert; noch vorteilhafter ist [48, p. 288] eine Atmosphäre von (bis auf etwa $^1/_3$ mm Druck) verdünntem Wasserstoff. Die zu den Versuchen benutzte Zambonische Säule[2]) besteht aus Scheiben von unechtem Gold- und Silberpapier, die auf einen gefirnißten Ebonitstab aufgereiht sind; ihr negativer Pol wird mit der zum Amalgame führenden Elektrode und dem Elektroskope, der positive mit der anderen, der Amalgamfläche gegenüberstehenden Elektrode verbunden. Mittels dieses Apparates konnte nun die lichtelektrische Empfindlichkeit der flüssigen Amalgame von Rubidium, Kalium, Natrium, Lithium, Magnesium, Thallium, Zink untersucht werden; dagegen erforderte die Herstellung reiner Oberflächen des K und des Na selbst, sowie einer Legierung dieser beiden, die bei gewöhnlicher Temperatur flüssig ist, ein besonderes Verfahren und Vorsichtsmaßregeln [46], deren Beschreibung uns viel zu weit führen würde.

---

[1]) Abbildung s. ZS. f. phys. u. chem. Unt. 5 (1891), p. 38. [2]) Abbildung s. l. c., p. 35.

Um die wichtigsten der von *Elster* und *Geitel* erhaltenen, höchst bemerkenswerten Resultate anzuführen, so zeigte vor allem das reine K eine hervorragende Empfindlichkeit: eine Petroleumlampe mit Glaszylinder und Reflektor z. B. brachte in 0,1 m, 1 m, 6 m Entfernung Spannungsabnahmen von bzw. 212 Volt, 108 Volt, 17 Volt hervor, Magnesiumlicht in 6 m Entfernung eine solche von 122 Volt; das durch eine Linse konzentrierte Licht einer in 6 m Abstand befindlichen Kerze drückte die Spannung fast bis auf Null herunter. Deutlich entladend wirkten ferner die Strahlen der nichtleuchtenden Bunsenflamme, das Licht der vorher mit Magnesiumlicht bestrahlten Balmainschen Leuchtfarbe (hierbei wurde die Elektrizitätszufuhr seitens der Säule durch Einschalten eines 10 cm langen Leinenfadens vermindert), das Licht des Mondes! Eine Beschränkung der lichtelektrischen Wirkung auf das Ultraviolett besteht bei Kalium auch nicht angenähert mehr; mit Hilfe eines durch ein Glasprisma entworfenen Sonnenspektrums wurde gefunden, daß für Sonnenlicht, das durch Glas gegangen ist, die maximale Wirkung im Blau liegt. Die entladende Kraft nimmt bis zum roten Ende des Spektrums rasch ab, ohne jedoch daselbst zu verschwinden; sie erstreckt sich andererseits weit in das Violett hinein. In Verbindung mit einem empfindlichen Galvanometer und ev. einer Batterie ergab die Kaliumzelle die Möglichkeit, auch die durch sichtbares Licht erzeugten photoelektrischen Ströme zu messen [48]. *Elster* und *Geitel* wiesen [50] nach, daß bei gleichbleibender elektromotorischer Kraft die Stromstärke der Lichtintensität proportional ist, indem sie die Stärken I_1 und I_2 zweier beliebigen Lichtquellen (am besten bewährten sich Petroleumlampen wegen ihrer Konstanz) erst einzeln maßen und danach prüften, ob beim Zusammenwirken beider $I_1 + I_2$ als Maß ihrer Gesamtintensität beobachtet wurde. Nach dieser und einer anderen, auf Absorption gegründeten Methode wurde die Brauchbarkeit des Apparates zur Vergleichung und Messung von Lichtstärken, mit einem Worte zur Photometrie, festgestellt.

Die lichtelektrisch wirksamsten Metalle ordnen sich [46] ihrer Empfindlichkeit nach in die Reihe: reines K, Legierung von K und Na, reines Na; dann folgen die Amalgame von Rb, K, Na, Li, Mg, (Tl, Zn). Die gleiche Reihenfolge ergibt sich, wenn man dieselben Stoffe nach der Größe der Potentialdifferenzen ordnet, die sie als Glieder einer Hydrokette zeigen. Je näher ein Glied der Reihe dem Anfange steht, desto empfindlicher ist es einerseits für geringe Lichtintensität, desto größer ist andererseits im allgemeinen die Wellenlänge desjenigen Lichtes, das noch entladend wirkt. Am weitesten gegen das rote Ende des Spektrums hin verschoben ist, wie *Elster* und *Geitel* 1894 [51] auf galvanometrischem Wege fanden, die lichtelektrische Empfindlichkeit bei reinem Rubidium; nicht nur das durch dunkelrotes Glas gegangene Licht einer Lithium-Bunsenflamme, sondern sogar schon ein schwach glühender Glasstab oder Metallkolben leiten in völlig finsterem Raume die lichtelektrische Entladung an einer Rubidiumfläche ein. Übrigens reagiert auch Na auf Gelb und Orange noch lebhaft.

Im folgenden mögen noch einige von den zahlreichen Untersuchungen anderer Forscher über die lichtelektrische Empfindlichkeit verschiedener Metalle erwähnt werden. *Hallwachs* [71] glühte ein in frisch geputztem Zustande sehr wirksames Kupferblech aus und fand, daß die Wirkung dieselbe blieb, auch wenn das Cu vollständig mit einer Oxydschicht bedeckt war; da er feststellen konnte, daß das Ausglühen eine Platinplatte oder eine oxydierte Cu-Platte immer auf gleiche Empfindlichkeit für unser Phänomen brachte, bediente er sich dieses Mittels statt

der mechanischen Reinigung. *Cantor* [32] zog aus gewissen Beobachtungen den Schluß, daß die lichtelektrischen Erscheinungen durch chemische, genauer durch photochemische Prozesse bedingt seien; wirklich fand er Platten, die mit dünnen Schichten von (im gewöhnlichen Sinne) „lichtempfindlichen“ Verbindungen, namentlich Schwefelverbindungen von Messing, Cu, Pb und dergl., bedeckt waren, auch stärker „lichtelektrisch empfindlich“ als die blanken Metalle. — Da der Hertz-Effekt bei fast allen Metallen in gleicher Weise auftritt, während der Hallwachs-Effekt in hohem Grade von deren Natur abhängig und z. B. bei vielen schweren Metallen sehr schwach ist, kam *Kreusler* [96] auf den Gedanken, den letzteren möglichst unter den Bedingungen des ersteren, d. h. in der Nähe des Entladungspotentials, zu studieren. In der Tat verminderten sich in großer Nähe des Funkenpotentials die Unterschiede mehr und mehr, und alle Metalle zeigten dann eine lichtelektrische Empfindlichkeit, gegen welche die bei niederen Potentialen beobachtete ganz in den Hintergrund tritt. Die Anode wurde durch einen oder zwei dünne Platindrähte gebildet, damit das Licht ohne wesentliches Hindernis normal auf die Kathode, eine kleine Kalotte aus dem betr. Metallbleche, fallen konnte. Die hohen Potentiale wurden von einer Influenzmaschine geliefert; behufs Aufrechterhaltung eines konstanten Potentials war die Kathode mit einer Leidener Batterie verbunden. *Kreuslers* photoelektrische Zelle, mit einer Pt-Kathode in Wasserstoff von 200 mm Druck, erwies sich als besonders geeignet zu photometrischen Messungen im ultravioletten Spektralgebiete, etwa für $\lambda = 300\ \mu\mu$ bis 186 $\mu\mu$; er untersuchte damit die Absorption des Ultraviolett in Luft, CO_2, N, NO, H_2O. Sichtbares Licht wirkte unter diesen Umständen nicht. *Meyer* verwendete [116] die Kreuslersche Methode zur Messung der Absorption der ultravioletten Strahlung in Ozon. — Ausgehend von der durch *Elster* und *Geitel* festgestellten Tatsache, daß im allgemeinen die am stärksten elektropositiven Metalle die stärkste lichtelektrische Zerstreuung zeigen, untersuchte *Wulf* 1902 [192] das Verhalten von Platin, das auf elektrolytischem Wege mit Wasserstoff beladen und dadurch elektropositiver gemacht worden war; er fand es in gewöhnlicher Luft etwa 10 mal so stark lichtelektrisch aktiv als ohne jene Ladung. Übrigens hatte *Righi* [137] bei der Messung der Kontaktpotentialdifferenzen von Metallen in verschiedenen Gasen (s. p. 19) bereits bemerkt, daß Pt in einer Wasserstoffatmosphäre sich dem Zn näherte. Nach *Wulf* scheint die lichtelektrische Wirksamkeit einer Elektrode insofern von der Natur des umgebenden Mediums abzuhängen, als sie mit der chemischen Potentialdifferenz zwischen der Elektrode und ihrer Atmosphäre wächst. — Der häufig betonte Einfluß der Oberflächenbeschaffenheit auf die lichtelektrische Empfindlichkeit äußerte sich besonders bei den Versuchen von *Ladenburg* [97], die ergaben, daß dieselbe bei allen untersuchten Metallen im Vakuum durch Hochglanzpolitur wesentlich erhöht wurde; die von ihm unter solchen Umständen gefundene Reihenfolge der Metalle stimmte weder mit der von *Elster* und *Geitel* in Luft erhaltenen, noch sonst irgend einer Reihe überein.

Eine ganze Reihe von Untersuchungen beweist, daß auch viele nichtmetallische Substanzen lichtelektrisch wirksam sind. *Bichat* und *Blondlot* [12] stellten dies fest für Karton, der mit Ruß oder mit Reißblei bedeckt ist, *Righi* für verschiedene Nichtleiter, wie Schwefel und Ebonit [131], während Glas, Harz, Schellack und dergl. sich fast unempfindlich zeigten. Auf die zum Teile hierher gehörigen Versuche von *Branly* kommen wir später zu sprechen (s. p. 33). *Knoblauch* [94] bringt, ähnlich wie *Cantor* (s. o.), die lichtelektrische Zerstreuung in Verbindung mit photochemischen Vorgängen, bei denen insbesondere der Sauerstoff der Luft

mitspielt; er findet jedoch bei der Prüfung gewisser anorganischen Sulfide, Oxyde und zahlreicher Anilinfarbstoffe, die zu photochemischen Umsetzungen neigen, keinen durchgängigen Parallelismus zwischen lichtelektrischem Zerstreuungsvermögen und Lichtempfindlichkeit im gewöhnlichen Sinne. Mit Rücksicht auf die *Arrhenius*sche Theorie der atmosphärischen Elektrizität studierte *Lampa* [98] unter Verwendung von Sonnen- und Magnesiumlicht die lichtelektrische Zerstreuung von Substanzen, die an der Bildung der Erdoberfläche beteiligt sind, gelangte aber bei Lehm, Backstein, Sandstein, Kalk, Schiefer, Granit, Holz, frischen Blättern zu negativen Ergebnissen. Nebenbei sei erwähnt, daß bei elektrischen Messungen im Luftballon nach *Ebert* [35] darauf zu achten ist, daß die üblichen Ballonstoffe einen, wenngleich schwachen, Hallwachs-Effekt zeigen. *Elster* und *Geitel* fanden bei ihren Versuchen mit Sonnenlicht zunächst [39] nur einen nichtmetallischen Körper, der deutlich reagierte, nämlich die Balmainsche Leuchtfarbe; dadurch veranlaßt, prüften sie [47] eine Anzahl anderer künstlicher Phosphore, die Schwefelverbindungen von Ca, Sr, Ba, mit Erfolg und ließen sich auch bei der Auswahl der zu prüfenden Mineralien von deren Phosphoreszenzvermögen leiten. Wegen der Schwäche der Wirkung wurde dann nicht mehr das Exnersche Elektroskop, sondern ein Quadrantenelektrometer in Verbindung mit einer Art von Luftkondensator verwendet. Letzterer bestand der Hauptsache nach aus einer oxydierten Eisenschale zur Aufnahme der (pulverisierten) Substanzen und einem dicht darüber befindlichen Netze aus Eisendraht, das mit dem positiven Pole einer Säule von etwa 300 Volt Spannung verbunden war, während eine Leitung von der Schale zum Elektrometer führte. So untersucht, zeigte sich Flußspat, namentlich in seinen am tiefsten blauviolett oder grün gefärbten Varietäten [51], im Sonnen- und Tageslichte lichtelektrisch wirksam[1]), wobei vornehmlich die blauen Lichtstrahlen, nicht ausschließlich die ultravioletten, die Entladung einleiteten. Auch Kryolith, Schwerspat, Cölestin, Arragonit, Strontianit, Kalkspat, Feldspat, Granit wiesen bei Anwendung dieser Methode deutliche Spuren lichtelektrischer Empfindlichkeit auf. In die aufgezählte Reihe ordnen sich nach späteren Untersuchungen [55] manche farblosen oder weißen Haloïdverbindungen der Alkalimetalle, wie NaCl, KCl, RbCl, besonders CsCl, ferner KBr, KJ etc., aber auch wasserklarer Flußspat, ein, wenn sie zuvor durch Einwirkung von Kathodenstrahlen gewisse Färbungen angenommen haben. Ähnliches gilt [57] für einige Salze, wenn sie durch Erhitzen in K- oder Na-Dampf oder endlich [59] durch Becquerelstrahlen gefärbt worden sind. Das lichtelektrische Verhalten von Flußspatwürfeln studierte auch *G. C. Schmidt* [143] im Anschlusse an *Hankels* Untersuchungen.

Was den Hallwachs-Effekt von Flüssigkeiten betrifft, so ließen zuerst *Bichat* und *Blondlot* [12] über eine Glasplatte oder auch ganz frei eine Wasserschicht aus einer durchlöcherten Röhre, die isoliert aufgestellt und negativ geladen war, herabfließen oder brachten das Wasser in eine Glasschale und beleuchteten es durch ein Drahtnetz hindurch; es erwies sich als lichtelektrisch völlig unempfindlich. Seine Durchlässigkeit für die wirksamen Strahlen hatte bereits *Hallwachs* [69, p. 304] bemerkt. *Stoletow* [158] zeigte, daß eine mit nassem Papiere bedeckte Metallplatte, ein mit Wasser benetztes Drahtgewebe oder Gazestück als unempfindliche negative Elektrode dienen können. Nach *Hoor* [85] gilt dies auch für eine Lamelle aus Seifen-

[1]) Die seinerzeit von *Hankel* studierte „photoelektrische Erregung" natürlicher Flußspatkristalle durch Belichtung zeigt eine ähnliche Abhängigkeit von der Farbe.

wasser. Auch das Sonnenlicht wirkt nach *Elster* und *Geitel* [39] weder auf kaltes, noch auf heißes Wasser, ebensowenig auf Kochsalzlösung. In diesem Zusammenhange sei erwähnt, daß gemäß den Beobachtungen der zuletzt genannten Autoren reiner Schnee im Sonnenlichte gleichfalls unempfindlich ist, selbst in einer Meereshöhe von 3100 m (auf dem hohen Sonnblick), in der die entladende Kraft der ultravioletten Sonnenstrahlen diejenige im Tieflande bedeutend übertrifft. *Brillouin* [27] zog aus einer von *Buisson* gefundenen lichtelektrischen Empfindlichkeit des trockenen Eises weitgehende Folgerungen für die Erklärung der Luftelektrizität, wurde aber von *Benndorf* [10] widerlegt, der durch sorgfältige, mannigfach variierte Versuche feststellte, daß Eis so gut wie unempfindlich ist. — *Stoletow* machte [158] darauf aufmerksam, daß eine Flüssigkeit um so stärker lichtelektrisch reagiert, je undurchlässiger sie für die wirksamen Strahlen ist, d. h. je mehr sie dieselben absorbiert; so fand er konzentrierte ammoniakalische Lösungen von Eosin und Fluoreszeïn ziemlich empfindlich, während solche von Fuchsin, Methylviolett und Methylgrün geradezu mit den Metallen wetteiferten. Mit diesen Lösungen tränkte er ein Papierblatt, oder er trug sie direkt auf die Kondensatorplatte auf, wo sie auch nach dem Eintrocknen noch wirkten. Seine Ergebnisse wurden von *Hallwachs* [71] bestätigt, der die Flüssigkeiten in einem Uhrglase senkrecht unter den zwischen horizontal liegenden Kohlen gebildeten Lichtbogen brachte. Fast so wirksam wie die Metalle erwiesen sich wässerige (nicht alkoholische!) Lösungen von Fuchsin, Cyanin, Jodgrün; weniger wirksam solche von salpetrigsauerem K, Eosin, Hämatoxylin, Blauholz, Rotholz, Ameisensäure, Anilin; unwirksam Wasser usw. Immer waren diejenigen Lösungen die empfindlichsten, die, wie durch besondere Versuche gezeigt wurde, die stärkste Absorption gegenüber den ultravioletten Strahlen aufwiesen. Eine einfache Beziehung zwischen Lichtabsorption und lichtelektrischer Zerstreuung konnte jedoch nicht festgestellt werden, ebensowenig wie *Schmidt* [144] eine solche zwischen Fluoreszenz und Aktinoelektrizität nachzuweisen vermochte. Es scheint, daß die lichtelektrische Zerstreuung zwar immer an Absorption der wirksamen Strahlen durch den Zerstreuungskörper gebunden ist, daß aber umgekehrt die Absorption nicht notwendig Zerstreuung zur Folge hat. Die einschlägigen Versuche, die *Elster* und *Geitel* mit polarisiertem Lichte anstellten, sind p. 31 erwähnt.

Im vorhergehenden mußte der Einfluß des Druckes und der Natur der Gase auf die Stärke des Hallwachs-Effektes gelegentlich der Untersuchungen von *Stoletow*, *Righi*, *Elster* und *Geitel*, *Wulf*, *Ladenburg* bereits betont werden. Nachzutragen wäre etwa, daß *Stoletow* [159] in Kohlensäure den photoelektrischen Strom beinahe doppelt so stark fand als in Luft (vergl. p. 8, *Wiedemann* und *Ebert*; s. a. *Elster* und *Geitel* [43, p. 170 und 171]), während *Breisig* [26] in Kohlensäure eine schwächere lichtelektrische Zerstreuung als in Luft erhielt. Letzterer schiebt dies auf die Armut seiner Lichtquelle, der hellleuchtenden Gasflamme eines Schnittbrenners, an ultravioletten Strahlen. Besonders kräftig, 2 bis 4mal so stark als Luft, wirken nach *Breisig* die Dämpfe von Benzin, Äther und namentlich Alkohol.

Noch ist zu bemerken, daß nach Versuchen von *Bichat* und *Blondlot* [13] ein gegen die belichtete Kathode gerichteter kräftiger Luftstrom die Intensität des Photostromes wesentlich steigert.

Bezüglich des Einflusses der Temperatur meint *Hoor* [86], daß schon beim Erwärmen auf 55° die lichtelektrische Empfindlichkeit einer Zinkplatte merklich herabgesetzt würde; entgegen diesem Befunde wird nach *Stoletow* sowohl [160] beim Erhitzen eines Platinplattenkondensators auf 200°, als [163, p. 737] beim Erhitzen von Ag oder Zn über 100° die aktinoelektrische

Wirkung verstärkt. *Elster* und *Geitel* warnen [50] davor, das lichtelektrische Photometer (s. p. 26) in zu geringe Entfernung von der Lichtquelle zu bringen, da [l. c., p. 634] „die Empfindlichkeit der Zelle mit steigender Temperatur zunimmt". *Zeleny* [194] erhitzte einen belichteten Platindraht durch eine isoliert aufgestellte Akkumulatorenbatterie; bis etwa 170° nahm der Effekt um 30 bis 40% ab, um dann stark anzusteigen, so daß er bei 600° ziemlich das Doppelte des Anfangswertes betrug. Eine Art Nachwirkung zeigte sich insofern, als beim Wiederabkühlen der Effekt unter Umständen stark vermehrt blieb und nur sehr langsam seinen alten Wert wieder annahm.

Braucht die lichtelektrische Wirkung meßbare Zeit zu ihrem Entstehen? *Borgmann* bejahte diese Frage; er fand erstens [15], daß der Ladungsverlust bei den *Hallwachs*schen Versuchen allmählich anstieg und noch nach dem Aufhören der Belichtung fortdauerte; erzeugte er zweitens [16] mittels einer Batterie in einem Luftkondensator einen Photostrom, ließ aber das Licht durch eine rotierende Sektorenscheibe gehen, so hörte er in einem an Stelle des Galvanometers eingeschalteten Telephon nur im Momente des Stromschlusses einen Schlag, weiterhin aber keinen Ton. Er schloß daraus, daß der lichtelektrische Strom nicht sofort in voller Stärke entsteht. *Stoletow* berichtigte [160, 161] diese Ansicht; er erklärte *Borgmanns* Resultat einfach dadurch, daß das Telephon zwar empfindlich genug für die Schließung der Kette, nicht aber für den schwachen intermittierenden Strom ist, und wies dann selbst mittels einer sinnreichen Versuchsanordnung, bei der auf der Achse der Sektorenscheibe zugleich ein Kommutator rotierte, nach, daß [163, p. 746 ff.] der Strom nicht über $^1/_{1000}$ Sekunde später entsteht oder verschwindet als die Beleuchtung. *Elster* und *Geitel* fanden [51], daß „elektrische Schwingungen von sehr kleiner Periode, wie sie durch einen Hertzschen Oszillator geliefert werden, bei Gegenwart von Alkalimetallen auf ein verdünntes Gas durch Belichtung übertragbar sind"; dieser Versuch zeigt, „daß die sehr kurzen Zeiträume, in welchen die empfindliche Elektrode während der Schwingungen mit negativer Elektrizität geladen ist, für das Zustandekommen der lichtelektrischen Wirkung ausreichen". Auch der p. 16 beschriebene Versuch von *Sella* spricht für das momentane Eintreten derselben. Eine von *Lebedinsky* [100] beim Hertz-Effekte unter Umständen beobachtete Nachwirkung läßt sich vielleicht durch gewisse Veränderungen der Funkenstrecke unter dem Einflusse der Funken selbst [*Jaumann*, 88 b, p. 666] erklären.

Bei dem Bestreben, einen Zusammenhang zwischen der Intensität des photoelektrischen Stromes und der Orientierung der Lichtschwingungen gegen die belichtete Fläche aufzufinden, stießen *Elster* und *Geitel* [51] auf die Schwierigkeit, daß die gebräuchlichen Polarisationsvorrichtungen, wie Glasplattensatz, Nicolsches Prisma, Turmalinplatte, für ultraviolettes Licht ziemlich undurchlässig sind. Sie operierten also, um sichtbares Licht und somit das Nicolsche Prisma verwenden zu können, mit einer flüssigen K-Na-Legierung in gläserner Vakuumzelle und beobachteten, wenn sie den polarisierten Lichtstrahl schief auf die Kathodenfläche fallen ließen, am Galvanometer 2 Maxima und 2 Minima der Stromstärke bei einer vollen Umdrehung des Nicol. Bezeichnet α den Winkel zwischen der Einfallsebene und der im Fresnelschen Sinne zur Polarisationsebene senkrechten Schwingungsebene (also der Ebene der elektrischen Schwingungen oder Verschiebungen)[1]) des Lichtes, so ist [52] die Stromstärke J darstellbar

[1]) S. Wüllner, Bd. IV, p. 685 und 717.

durch die Formel: $J = A \cdot \cos^2 \alpha + B \cdot \sin^2 \alpha$. Die Koeffizienten A, die maximale, für $\alpha = 0$ erhaltene, und B, die minimale, für $\alpha = 90^0$ erhaltene Stromstärke, sind [56] Funktionen des Einfallswinkels φ; B ist am größten und A am kleinsten für $\varphi = 0$, d. h. bei senkrechter Inzidenz, wogegen das Maximum von A an einen ganz bestimmten Einfallswinkel gebunden ist, der für die K-Na-Fläche etwa 60^0, für Rb- und Cs-Amalgam mindestens 75^0 beträgt. Auch hier ist wahrscheinlich „der photoelektrische Strom, soweit er vom Einfallswinkel und der Schwingungsrichtung des erregenden Lichtes abhängt, durch den Betrag der Lichtabsorption an der Kathode bestimmt" (vergl. p. 29). Übrigens ist, wie für senkrecht zur Einfallsebene polarisiertes Licht, so auch für natürliches die lichtelektrische Wirkung eines schief einfallenden Strahles größer als die eines senkrecht einfallenden Strahles [s. a. 58]; dies zeigt sich sowohl bei sichtbarem Lichte an flüssigen und deshalb völlig ebenen Alkalimetallflächen im Vakuum, als, wenn schon minder deutlich, an amalgamierten Zinkflächen in freier Luft. Als *Ladenburg* [97] ultraviolettes Licht auf polierte Metallflächen im Vakuum einwirken ließ, fand er die Stärke des Photostromes unabhängig vom Einfallswinkel [l. c., p. 573 ff.] und der Polarisationsebene; er selbst löste diesen scheinbaren Widerspruch durch den Nachweis, daß das wirksame Licht in das Metall eindringt, — bei einem Nickelspiegel, der auf einem eingebrannten Platinspiegel niedergeschlagen war, bis zu einer Tiefe von etwa 8 Wellenlängen ($\lambda = 220\ \mu\mu$). Dann muß aber jeder Einfluß der ursprünglichen Orientierung der Schwingungen verschwinden. Daß für die in Rede stehenden Vorgänge die ganze vom Lichte durchdrungene Körperschicht in Betracht zu ziehen sei [*Lenard* 104, p. 184, Anm.], zeigte ein Versuch von *Hallwachs* [72], bei dem ein auf einer Quarzplatte niedergeschlagener durchsichtiger Silberspiegel die lichtelektrischen Erscheinungen auch dann lieferte, wenn er von der Quarzseite her belichtet wurde.

Merkwürdig und für die Theorie wichtig ist die Beeinflussung der lichtelektrischen Entladung durch Magnetismus, die von *Elster* und *Geitel* [43] entdeckt und studiert wurde. Bei niedrigen Gasdrucken (von 5 mm abwärts) nämlich wird die Entladung sowohl einer amalgamierten Zinkplatte als einer frisch ausgeglühten Platinplatte, die negativ geladen und mit Funkenlicht bestrahlt werden, durch einen kräftigen Elektromagneten, zwischen dessen Polen sich der Apparat befindet, gehemmt, bei minimalen Drucken fast ganz aufgehoben. Mittels einer Vakuumzelle mit Na-Amalgam konnte diese Hemmung sogar bei Tageslicht beobachtet werden. Es ergab sich [48], daß der scheinbare Widerstand, den ein verdünntes Gas dem photoelektrischen Strome im magnetischen Felde entgegensetzt, am größten ist in der Richtung senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien.

Fast solange wie der Hallwachs-Effekt selbst ist die Tatsache bekannt, daß die lichtelektrische Empfindlichkeit einer Substanz gewissen Veränderungen unterliegt. Ausnahmslos ist sie bei Metallen größer, wenn diese eine frische Oberfläche besitzen, als wenn sie einige Zeit an der Luft gelegen haben; die diesbezüglichen Beobachtungen von *Hallwachs* (s. p. 18), *Elster* und *Geitel* (s. p. 23) und anderen wurden von vielen Seiten bestätigt [vergl. *Hoor* 86; *Dufour, Dutoit* und *Hofer* 33]. Es ergibt sich daraus die immer wiederholte Mahnung, durch gründliches Reinigen, Abschmirgeln, Amalgamieren, Ausglühen usw. eine frische Oberfläche herzustellen. Die unter dem Einflusse der Belichtung selbst zumeist eintretende Abnahme der Empfindlichkeit wurde als „lichtelektrische Ermüdung" bezeichnet [*Stoletow* 163; *Breisig* 26]. Daß sie nicht auf Oxydation beruht, vermutete bereits *Hoor* [l. c., p. 114]; das Verhalten einer

oxydierten Kupferplatte bei den Versuchen von *Hallwachs* (s. p. 26) spricht ebenso dagegen, wie der Umstand, daß nach *Kreusler* [96] auch Platin ermüdet, während das leichter oxydierbare Silber keine nachweisbare Ermüdung zeigt[1]), ebensowenig berußtes Aluminium. Wohl aber beobachtete *Kreusler* eine Oberflächenänderung des bestrahlten Metalles, indem sich nach längerer Bestrahlung die durch die drahtförmige Anode (s. p. 27) beschattet gewesene Kathode beim Anhauchen als scharfe Linie markierte. Eingehend beschäftigte sich in einer interessanten Arbeit [30; kürzer 29] *Buisson* mit diesem Gegenstande. Er fand, daß die Geschwindigkeit des Elektrizitätsverlustes einer amalgamierten Zinkplatte bei Sonnenlicht in umgekehrtem Verhältnisse zu der Zeit steht, die seit dem in voller Beleuchtung erfolgten Putzen verflossen ist; im Dunkeln tritt jene Änderung der Oberfläche überhaupt nicht ein, — im Gegenteile ist eine frisch amalgamierte Zn-Platte, die 2 bis 5 Stunden unter Lichtabschluß aufbewahrt wurde, empfindlicher als vorher, und eine bereits ermüdete Platte „erholt sich" im Dunkeln. Diese Erholung ist, wie die unmittelbar vorher erwähnte „Kräftigung" nach *von Schweidler* [146, 149] ein vom Lichte unabhängig verlaufender Prozeß, der im Dunkeln für sich allein zur Geltung kommt, im Lichte sich der Ermüdung superponiert. *Buisson* entdeckte (neben der Geschwindigkeitsabnahme der lichtelektrischen Zerstreuung) noch ein anderes Reagens für die bei Belichtung erfolgende Oberflächenänderung, indem er eine Änderung der Kontaktpotentialdifferenz eines belichteten Metalles gegen ein unbelichtetes auffand und maß. Die meisten Metalle, Al, Zn, Cu, Sn, Pb, Bi, Mg, Messing, amalgamiertes Zn, sind nach der Besonnung um ungefähr 0,125 Volt elektronegativer; Pt allein wird positiver. Ein vorgehaltenes farbloses Glas läßt diese Variation bestehen, sodaß das äußerste Ultraviolett wenig zu wirken scheint. Bogenlicht an sich bewirkt keine Potentialänderung; letztere tritt erst bei Vorschaltung einer Glasplatte ein, und zwar in demselben Sinne wie beim Sonnenlichte. Daraus ist zu schließen, daß die brechbarsten Strahlen den weniger brechbaren entgegen wirken und deren Wirkung neutralisieren. Am auffallendsten zeigte sich dies bei Zn und bei einem gewissen Spiegelmetalle: Bogenlicht lieferte nicht die Potentialänderung Null, sondern eine positive; Zwischenschaltung von Glas machte sie negativ wie bei Sonnenlicht. Die „Inversionswellenlänge", die das Spektrum in zwei Teile teilt, deren Wirkungen entgegengesetzten Sinnes sind, liegt bei etwas über 0,305 μ. — Untersuchungen über die Ermüdung im Vakuum findet man bei *Lenard* [105] und *Ladenburg* [97].

In jüngster Zeit hat *Hallwachs* [78] neue Gesichtspunkte für die Erklärung der lichtelektrischen Ermüdung geltend gemacht. Er stellte zunächst die Empfindlichkeit einer hochpolierten Kupferplatte in einer lichtelektrischen Zelle fest, nahm sie dann heraus und hob sie a) im Freien, b) im Zimmer, c) in einem Glaskasten von 0,3 cbm Inhalt, d) in einer Literflasche auf, um sie nachher von Zeit zu Zeit wieder in der Zelle zu beobachten. Sie war auf die Hälfte ihrer Empfindlichkeit heruntergegangen bei a) in 1,5 Stunden, bei b) in 3 Std., bei c) in 22 Std., bei d) in 8 bis 20 Tagen! *Hallwachs* nennt diese Wirkung des Einschließens in einen kleineren Raum „Gefäßeinfluß". Kupferoxyd ermüdet etwa 100 mal so langsam als reines Kupfer; eine lichtelektrische Kupferoxydzelle, die in ein Glasgefäß mit aufgekittetem Quarzdeckel eingeschlossen war, halbierte ihre Empfindlichkeit erst nach 330 Tagen und konnte wegen dieser langsamen Veränderlichkeit als Vergleichs- oder Eichzelle dienen. Der Gefäß-

[1]) Zu dem Verhalten des Silbers vergl. eine Bemerkung von *L. Arons* in Drudes Ann. **1** (1900), p. 703.

einfluß deutete darauf hin, daß eine nur in sehr geringer Menge in der Luft vorkommende chemische Substanz die Ursache der lichtelektrischen Ermüdung sei; *Hallwachs* betrachtet es fast als sicher, daß die letztere der Hauptsache nach durch Ozon hervorgebracht wird. Mittels der beschriebenen Eichzelle studierte er die „lichtelektrische Strahlung" des Kohlenlichtbogens [77], die, im Gegensatze zu der wesentlich vom Krater der positiven Kohle ausgehenden sichtbaren Strahlung, fast ausschließlich vom Bogen geliefert wird (vergl. die p. 7 erwähnte Beobachtung von *Hertz*), so daß sie in weiten Grenzen unabhängig von der Richtung ist. *Hallwachs* untersuchte ihre Abhängigkeit von Spannung und Stromstärke bzw. Bogenlänge; eine recht konstante Strahlung ergab die Hefner-Altenecksche Hauptstromlampe bei Verwendung von Homogenkohle, während die Quarz-Quecksilber-Lampe von Heraeus sich, schon wegen der starken Ozonbildung, als viel weniger geeignet zu quantitativen lichtelektrischen Versuchen erwies.

Bevor wir das Kapitel der lichtelektrischen Zerstreuung verlassen, muß noch der Zerstreuung positiver Elektrizität unter dem Einflusse des Lichtes gedacht werden, die einige Forscher, im Gegensatze zur großen Mehrzahl, festgestellt zu haben glauben. Sowohl *Righi* [127, 129, 136] als *Stoletow* [157, 158] fanden am Platten-Netz-Kondensator einen schwachen Einfluß der Bestrahlung auch dann, wenn die Platte gegen das Netz positiv war, sei es infolge des Kontaktpotentiales (Platte Zink, Netz Messing), sei es infolge zugeführter Ladung; beide sind jedoch darin einig, daß in diesem Falle die Wirkung von dem (negativen) Netze ausgeht, das zwar direktes Licht nur von außen, aber reflektiertes von der Platte her erhält. Wurde das Netz lackiert (Righi) oder gut befeuchtet (Stoletow), also lichtelektrisch unempfindlich gemacht, so verschwand jede Wirkung. Viel stärker trat sie auf, wenn die Platte gegen das Netz negativ war; durch Lackieren oder Anfeuchten des Netzes wurde sie alsdann absolut nicht geändert. Die Strahlenwirkung ist demnach als streng unipolar zu betrachten [*Stoletow* 161]. *Narr* [120] hatte sowohl an einem Kondensator, als an einer einzelnen vergoldeten Messingplatte überhaupt nur eine sehr geringe entladende Wirkung des Lichtes, jedenfalls aber eine ungleich geringere bei negativer Ladung als bei positiver beobachtet; er selbst bezeichnet freilich seine Versuchsergebnisse als unvollkommen und unvollständig. Dagegen fand *Branly* [18, 19, 20, 21], daß Platten von Zn, Al, Cu, Cd, Bi bei geringem Abstande (6 bis 12 cm) von der Lichtquelle positive und negative Ladung gleich schnell verloren, wenn das Licht von Induktorfunken zwischen Aluminiumspitzen geliefert wurde, also besonders reich an ultravioletten Strahlen war, während der Lichtbogen kräftiger auf negative als auf positive Elektrizität wirkte. Im ersteren Falle nahm der Einfluß auf positive Ladungen stärker bzw. schneller ab, wenn eine Glasplatte eingeschaltet oder die Entfernung von der Lichtquelle vergrößert wurde. Analoge Beobachtungen an photoelektrischen Strömen im Platten-Netz-Kondensator brachten *Branly* zu der Überzeugung, daß die für positive Elektrizität wirksamen Strahlen in Luft und Quarz besonders kräftig absorbiert wurden, also sehr stark brechbar sein und eine äußerst geringe Wellenlänge besitzen mußten. Während ferner [24] Holz, Marmor, Karton, gebrannter Ton, auf 100° erhitztes Glas bei Bestrahlung negative Ladungen rascher verlieren als positive, soll bei gefirnißtem, geöltem, paraffiniertem oder getalgtem Holze, ebenso bei getalgten Metallplatten das Umgekehrte der Fall sein. — *Elster* und *Geitel* unternahmen es im

Jahre 1896 [53], *Branly* direkt zu widerlegen. Die nur kurze Arbeit scheint mir besonders bemerkenswert, nicht allein wegen der prinzipiellen Wichtigkeit der behandelten Frage, sondern auch wegen der umsichtigen Anordnung der Experimente und namentlich wegen der peinlichen Sorgfalt, die auf die Aufdeckung und Vermeidung der möglichen Fehlerquellen verwendet wurde. Die als Lichtquelle dienende Aluminiumfunkenstrecke befand sich im Freien vor dem geschlossenen Fenster des Beobachtungsraumes; eine Fensterscheibe war durch eine geerdete Eisenblechplatte ersetzt, die in einer kreisförmigen Öffnung eine Quarzlinse trug. Im Zimmer stand, 25 cm vom Fenster, ein durch mehrere hundert Elemente (Zink—Salmiaklösung—Kohle) auf über 525 Volt geladenes Eisendrahtnetz und diesem parallel in 2 bis 4 mm Entfernung die zu untersuchende Platte, die mit einem Aluminiumblattelektroskope verbunden war; das Quadrantenelektrometer hatte sich nämlich bei der hohen Spannung und der geringen Entfernung zwischen Platte und Netz als allzu empfindlich erwiesen. Jedenfalls erschienen jetzt elektrostatische Wirkungen der Funkenstrecke ausgeschlossen. Bei positiver Ladung des Netzes erhält die Platte infolge der Influenz an ihrer Oberfläche negative Elektrizität, die bei ultravioletter Belichtung auf das Netz überfließt und die Platte positiv geladen zurückläßt; die Potentialänderung der letzteren wird durch das Elektroskop angezeigt. Eine Elektrizitätsübertragung im Lichte fand nur statt, wenn das Netz positiv geladen und eine amalgamierte Zinkplatte benutzt wurde, während für paraffinierte oder gefettete Zink- und Holzplatten das Potential — unabhängig vom Zeichen der Elektrizität des Drahtnetzes — dauernd auf Null verblieb. Ferner wurde die Funkenstrecke nach *Branlys* Vorschrift in einen geerdeten Eisenblechkasten mit Quarzfenster verlegt; letzterem stand die mit dem Elektroskope verbundene elektrisierte Platte isoliert gegenüber. Bei geringer Entfernung der mit Talg oder Paraffin überzogenen Platte von dem Kasten nahm unter Umständen eine positive Ladung schneller ab als eine negative; die Vermutung, daß hier die der Platte zugekehrte Oberfläche des Kastens, auf der sich durch Influenz negative Elektrizität ansammeln mußte, unter Einwirkung des von der Fettschicht der Platte reflektierten Lichtes negative Elektrizität zur Platte sende und sie somit entlade, wurde zur Gewißheit, als die Erscheinung sich nunmehr abhängig von der Natur der Kastenoberfläche zeigte[1]). Wurde diese mit Stanniol oder mit amalgamiertem Zinkblech belegt, so nahm die Elektrizitätsübertragung auffallend zu. Schon früher [46] hatten Versuche mit der Kaliumzelle, auch wenn das K positiv, die gegenüberstehende Pt-Elektrode negativ geladen war, zunächst gleichfalls eine geringe Wirkung ergeben; sie rührte aber jedenfalls davon her, daß auf der für Strahlen, die durch Glas gegangen sind, unempfindlichen Pt-Kathode sich ein dünner Anflug von K gebildet hatte. Beseitigte man diesen durch galvanisches Ausglühen des Platindrahtes, so trat nur bei negativ elektrisierter K-Fläche lichtelektrische Entladung ein. Als sich bei Wiederholung der Versuche [53] Spuren einer solchen bei entgegengesetzter Ladung zeigten, blieb noch die Möglichkeit, daß sich die innere Glaswand der Zelle bei der Berührung mit K-Dämpfen mit einer lichtelektrisch empfindlichen Schicht überzogen hatte. Um diese Fehlerquelle zu beseitigen, wurde der größte Teil der Zellenwand außen versilbert (wobei nur ein kleiner Raum um die Einschmelzstelle des Kathodendrahtes und ein Fenster für den Eintritt des Lichtes frei blieb) und sonach mit der K-Fläche zugleich auf dasselbe positive Potential

[1]) Vergl. hierzu eine Bemerkung von *Börnstein* [17], die sich auf eine ähnliche Fehlerquelle bei Messung der luftelektrischen Zerstreuung vom Luftballon aus bezieht.

geladen; dann aber trat unmittelbar nach dem Ausglühen des Drahtes kein Elektrizitätsverlust im Lichte ein. Das Resultat der Versuche mit gewöhnlichem Lichte an Alkalimetallflächen im Vakuum und derjenigen mit ultraviolettem Lichte in freier Luft ist also das gleiche: die photoelektrische Wirkung ist auf die Kathode beschränkt.

Übrigens lassen die von *Branly* erhaltenen Versuchsergebnisse auch noch eine andere Deutung zu, indem sie vielleicht durch eine Wirkung des Lichtes erklärt werden können, die nicht zu den „lichtlektrischen Erscheinungen" in unserem Sinne gehört. Wie *Arrhenius* (s. p. 17), so hatten auch *Schuster* (Beibl. **15** (1891), 56—60), *Simon* [154], *Wilson* [190] und andere vermutet, das ultraviolette Licht möchte unter Umständen auf das durchstrahlte Gas in dem Sinne wirken, daß es dessen elektrische Leitfähigkeit erhöhe, — eine Ansicht, deren Richtigkeit von *Sohnke* [155], *Batelli* und *Garbasso* [7], *Henry* [81], *Wiedemann* und *Schmidt* [189], *Buisson* [30, p. 321] angezweifelt wurde. Im Jahre 1900 aber führte *Lenard* [102, 103] den wohl unanfechtbaren Nachweis, daß ultraviolette Strahlen von höchster Brechbarkeit oder kürzester Wellenlänge (etwa von $\lambda = 190\,\mu\mu$ bis $\lambda = 140\,\mu\mu$) in der Tat die Luft leitend machen, indem sie dieselbe ionisieren, d. h. ihre Moleküle in positive und negative Ionen zerspalten, wie es die Röntgenstrahlen, Kathodenstrahlen und Becquerelstrahlen tun, und zwar ohne Dazwischenkunft eines festen oder flüssigen Leiters! Es handelt sich also hierbei nicht mehr um den sich an der Oberfläche eines solchen abspielenden Hallwachs-Effekt, sondern um Volumionisation, deren Besprechung außerhalb des Rahmens dieser Arbeit liegt[1]). *Lenard* zeigte Mittel und Wege, beide Erscheinungen von einander zu trennen, wobei das Überziehen eines Leiters mit Seifenlösung, die ihn lichtelektrisch unempfindlich macht, eine wichtige Rolle spielt; er zeigte ferner, daß der Vorgang der Entladung eines Leiters durch ultraviolett bestrahlte Luft in einem Hinströmen entgegengesetzt elektrischer Ionen zu dem Leiter bestehe. Da nun die negativen Ionen eine größere Beweglichkeit besitzen als die positiven[2]), so muß ein positiver Leiter rascher entladen werden als ein negativer; damit würden aber die Branlyschen Beobachtungen zum Teile erklärt sein. — Die Idee, daß der im Gase, etwa in der Zimmerluft, suspendierte Staub bei der Bestrahlung Hallwachs-Effekt zeigen, d. h. negative Elektrizität abgeben und dadurch Erscheinungen wie die beschriebenen hervorbringen könnte, wird von *Lenard* abgelehnt.

C. Die lichtelektrische Erregung.

Um die Priorität der Entdeckung einer dritten Form der lichtelektrischen Wirkung, nämlich der positiven Elektrisierung ungeladener Körper durch Licht, entspann sich eine kleine Fehde zwischen *Righi* und *Hallwachs*, über deren Verlauf und Ergebnis in Kürze berichtet werden soll. *Righi* veröffentlichte in seiner ersten, vom 4. März 1888 datierten Note über die aktinoelektrischen Erscheinungen [127] die Beobachtung, daß eine isoliert aufgestellte Metallplatte, wenn sie einen Augenblick geerdet und dann mit einem Quadrantenelektrometer verbunden worden war, bei der Bestrahlung durch ultraviolettes Licht eine langsame Ablenkung

[1]) Über die citierten Arbeiten von *Lenard* berichtet die ZS. f. phys. u. chem. Unt. **13** (1900), p. 283, und **14** (1901), p. 46.

[2]) S. z. B. *Starke*, l. c., p. 373.

der Elektrometernadel in positivem Sinne ergab; er erklärte dies [127b, p. 155] im Anschlusse an die vorhergegangenen Versuche mit dem Platten-Netz-Kondensator dadurch, daß „die die Platte umgebenden Körper die Rolle des Netzes im ersten Versuche spielen; folglich ist es wahrscheinlich, daß die negative Elektrizität auf diese Körper und von da in die Erde übergeht"; dann würde die Platte und mit ihr das Elektrometer positiv geladen zurückbleiben. Ergänzt wird diese Erklärung durch folgende Bemerkung in der 5. Note [132]: „es genügt deshalb, anzunehmen, daß die untersuchten Metalle negativ gegen die umgebenden Leiter (Mauern, Holz usw.) seien. In der Tat wird die Metallplatte nach Verbindung mit der Erde mit einer sehr schwachen negativen Ladung[1]) bekleidet sein; die Wirkung der Strahlung auf diese wird die erscheinende (apparente) positive Ladung der Platte hervorbringen." *Righi* ist also der erste, der die Potentialerhöhung einer einzelnen Metallplatte bei der Belichtung beobachtet hat; „er schließt aber", um mit *Hallwachs* [74] zu reden, „weder selbst auf die Elektrizitätserregung, noch ist dies nachträglich wegen der zu diesem Zwecke ungeeigneten Versuchsanordnung möglich." *Hallwachs* hatte in seiner früher (p. 16) besprochenen ersten Arbeit über die lichtelektrische Zerstreuung am Schlusse [69, p. 311] die auf Vorversuche gestützte Vermutung ausgesprochen, daß vielleicht an der belichteten Oberfläche „auf irgend welche Art eine Scheidung der Elektrizitäten[2]) eintrete". Wie das gemeint ist, wird klarer durch die Worte [70, p. 731[3])]: „ich hatte erwähnt, daß sich, nach Vorversuchen zu urteilen, Metallplatten bei der Bestrahlung mit elektrischem Lichte elektrostatisch laden", und [74, p. 339] „diese Bemerkung besagt, daß ich darauf ausging, zu untersuchen, ob infolge der Belichtung neue Elektrizität erregt werde, und daß eine Anzahl Versuche diese Annahme bis dahin bestätigt hatte". Um nun Gewißheit darüber zu erlangen, ob die Potentialerhöhung einer belichteten Platte einem Weggange etwa vorhandener negativer Elektrizität oder einer Schaffung von positiver Elektrizität zu verdanken sei, schloß *Hallwachs* [70] von vornherein alle Versuchsanordnungen aus, bei denen die Platte negativ elektrisch gegen die Umgebung sein konnte. Er verband mit einem Hankelschen Elektrometer einen durch geerdete Messingröhren isoliert hindurchgeführten Draht, an dem im Innern eines gleichfalls zur Erde abgeleiteten, wagerecht liegenden Zylinders aus verrostetem Eisenblech eine frisch geputzte Zinkscheibe hing. Die Strahlen des Lichtbogens gelangten zu letzterer durch eine Öffnung im Deckel des Zylinders, die zur Verhinderung von Influenz seitens der Lampe mit Messingdrahtnetz[4]) bedeckt war. Die Entfernung vom Lichtbogen bis zur Platte betrug 45 cm. Da das Kontaktpotential von verrostetem Eisen gegen Zink negativ, etwa gleich — 1,2 Volt, ist, war die Platte sicher positiv gegen die sie ganz umschließende Hülle. Bei Bestrahlung der Platte blieb das Elektrometer in Ruhe, wenn zwischen Lichtquelle und Zinkscheibe eine Glimmerplatte geschoben war; bei Vertauschung der letzteren mit einer viel dickeren Platte aus Marienglas zeigte das Elektrometer eine allmählich wachsende positive Elektrisierung an. Das positive Maximalpotential, bis zu dem sich die Scheibe lud, betrug bei

[1]) Über die negative Ladung der Erdoberfläche vergl. *Riecke*, Bd. II, p. 71; s. a. *Müller-Pouillets* Lehrbuch der Physik (9. Aufl. von *Pfaundler*), Bd. III, p. 302 ff.

[2]) Vergl. hierzu eine Bemerkung von *Stoletow* [163, p. 773].

[3]) *Hallwachs* citiert später [74, p. 338, Anm. 2] versehentlich p. 371 statt 731.

[4]) Hiernach ist die Angabe von *Hoor* [86, p. 100]: „die Hülle und vermutlich auch das Netz waren aus verrostetem Blech resp. Draht hergestellt worden" zu berichtigen.

Zn etwas über 1 Volt, bei Messing etwa 1 Volt, bei Al 0,5 Volt. Die Oberflächen mußten sehr gut geputzt sein; die „Ermüdung" machte sich hier in hohem Maße geltend. — *Hallwachs'* Arbeit ist vom 6. April 1888 datiert und wurde am 5. Mai der Göttinger Akademie mitgeteilt; ähnliche Versuchsanordnungen (ungeladene oder schwach positiv geladene Cu-Platte in Cu-Hülle) beschreibt dann *Righi* in seiner Note vom 1. Juli [132], in der er allerdings die Priorität der Entdeckung auf Grund seiner Abhandlung vom 4. März beansprucht. Schließlich [74, 141] einigten sich beide Forscher dahin, daß *Righi* die Tatsache der Potentialerhöhung einer bestrahlten Platte entdeckt, *Hallwachs* aber zuerst die richtige Erklärung dieser Tatsache gegeben und die „lichtelektrische Erregung" sicher nachgewiesen hat. *Hallwachs* unterläßt nicht, zu erwähnen, daß *Righi* hauptsächlich die bis dahin (1890) gewonnenen Gesetze der Erscheinung zu danken sind (s. w. u.).

Bichat und *Blondlot* [13] fanden, daß die lichtelektrische Erregung durch einen kräftigen, gegen die Platte gerichteten Luftstrom (vergl. p. 29) auf den 6- bis 7-fachen Betrag, bis gegen 30 Volt, gebracht werden konnte; sie erzeugten durch vereinigte Wirkung des Anblasens und Belichtens einen Photostrom in der bekannten Kombination Platte — Galvanometer — Drahtnetz auch unter Verhältnissen, unter denen bei bloßer Belichtung keiner nachweisbar war. *Hallwachs* [72] belichtete den Boden eines einseitig geschlossenen Messingzylinders und leitete den Luftstrom eines Gebläses darauf. Geschah beides an der Außenfläche, so erhielt er eine Potentialerhöhung bis zu 35 Volt; wurde dagegen die Innenfläche benutzt, so kam man bis über 100 Volt! *Elster* [72] bemerkte, daß auch im Sonnenlichte reine Zn- und Al-Flächen durch kräftiges Anblasen bis zu etwa + 10 Volt elektrisiert werden; ohne Anblasen sahen *Elster* und *Geitel* [38, 39] bei denselben Metallen eine positive Ladung von 2,5 Volt sich langsam ausbilden (vergl. *Nodon* [121]). Als *Hallwachs* [73] die Versuche über die lichtelektrische Erregung mit dem bei der Zerstreuung so wirksamen amalgamierten Zink wiederholte und ohne Hülle, Drahtnetz und Gipsplatte auszukommen suchte, stellten sich bei der Bestrahlung mit Zink-Kohlen-Licht Potentialerhöhungen von 100 bis 140 Volt ein. Da solche nachher auch bei nicht amalgamiertem Zn, ja sogar bei Cu und Messing auftraten, konnten sie kaum lichtelektrischer Natur sein; *Hallwachs* fand bei genauerer Untersuchung die Fehlerquelle in einer Influenz seitens der Produkte der Bogenlampe. Er machte nun diese durch alle erdenklichen Vorsichtsmaßregeln unschädlich: die Lampe stand im Freien; ihre Strahlen traten durch eine Gipsplatte in das Beobachtungszimmer und daselbst durch ein Drahtnetz in ein Zinkgehäuse, in dem die Zinkplatte hing. Die lichtelektrische Wirkung der Strahlung war zunächst durch Glimmer abgeschnitten. Hülle und Platte wurden während der Bestrahlung erst geerdet und alsdann in ein Nebenzimmer gebracht, in dem das Hankelsche Elektrometer stand; dieses zeigte bei Verbindung mit der Platte keine Ablenkung. Wurde aber der Versuch nach Entfernung der Glimmerplatte und bei isoliert bleibender Zinkplatte wiederholt, so ergab sich eine Potentialerhöhung von 1,1 bis 1,4 Volt, ähnlich wie bei dem früher angestellten Grundversuche. Bezüglich eines von *Hallwachs* angegebenen Vorlesungsversuches zur Demonstration der lichtelektrischen Erregung [75] darf ich wohl auf die Beschreibung in der ZS. f. phys. u. chem. Unt. (5 (1891), p. 37) verweisen.

Righi stellte [131, 132] fest, daß bei der Bestrahlung einer Metallplatte in einer Hülle von gleichem Metalle die erlangte positive Ladung um so kleiner ist, je näher an der Platte

sich die Wände der Hülle befinden; entsprechend nimmt die Ladung einer durch ein Netz aus anderem Metalle bestrahlten Platte mit wachsender Entfernung von dem Netze zu. Die Wirkung hört auf, sobald die Oberflächendichtigkeit der positiven Elektrizität einen bestimmten Grenzwert δ erreicht hat, der unter sonst gleichen Umständen für jedes Metall konstant ist; das endliche Potential der Platte dagegen, und damit der Ausschlag des Elektrometers, kann je nach Gestalt und Lage des Körpers verschieden sein [141]. *Righi* bestimmte jenes δ sowohl [133] auf einem Kreise in verschiedenen Abständen von einer durchlöcherten und lackierten Platte, deren Potential konstant blieb, als [135] auf kupfernen Kugeln von verschiedenem Radius in metallenen Hüllen. Die maximale Dichtigkeit δ steigt [135, 140] mit der Verdünnung des umgebenden Gases beständig und sinkt bei niederen Drucken mit Zunahme der Entfernung zwischen Platte und Netz, solange diese ein gewisses Maß nicht überschreitet; beides steht in einem gewissen Gegensatse zu den von *Righi* für die Photodispersion aufgestellten Gesetzen (s. p. 20). — *Righi* fand u. a. ferner, daß [131] die elektromotorische Kraft der Strahlung am stärksten bei Gold und Kohle, schwächer bei Zn und Al ist, umgekehrt wie bei der lichtelektrischen Zerstreuung; daß [129] auch Isolatoren, z. B. Schwefel und Ebonit, sich bei der Bestrahlung positiv laden; daß [135] für eine Zinkplatte δ bei 24° größer ist als bei 10°; daß [140] die lichtelektrische Erregung gehemmt wird, wenn ein Elektromagnet so auf den bestrahlten Leiter wirkt, daß die Kraftlinien parallel mit dessen Oberfläche sind.

Endlich sei noch zweier ganz vereinzelt dastehenden Angaben von *Bichat* [11] gedacht. Erstens beobachtete er bei Verwendung von Kupfer ausnahmsweise eine, allerdings sehr schwache, negative[1]) Elektrisierung als Folge der Bestrahlung; zweitens aber bekam er hohe negative Potentiale, bis zu —20 Volt, wenn er eine isoliert aufgestellte Pflanze bestrahlte. Nur ein einziges Mal, mit einem Geranium, wurde eine positive Elektrisierung der Pflanze erhalten. —

Das Verhältnis zwischen lichtelektrischer „Zerstreuung" und „Erregung" wurde von verschiedenen Autoren verschieden aufgefaßt. *Hoor* sagt [86, p. 100]: „man kann . . . die von *Hallwachs* beobachtete positive Elektrisierung belichteter Platten nicht als eine neue Erscheinung ansehen"; entsprechend *Stoletow* [163, p. 773]: „mir scheint, daß uns hier nichts besonders Neues entgegentritt, daß man sich die aktinoelektrische Ladung mit positiver Elektrizität als das Resultat einer Entladung von negativ geladenen Körpern erklären muß; darauf weisen auch *Bichat* und *Blondlot* hin." Letztere Bemerkung trifft wohl nicht ganz zu; *Bichat* und *Blondlot* stellen [13] ausdrücklich fest, „daß die durch das Anblasen fortgeführte (negative) Elektrizität nicht einer statischen Ladung der Platte entnommen ist", indem sie dafür gesorgt hatten, daß die bestrahlte und angeblasene Platte sicher mit einer positiven Ladung bedeckt war. Und wenn *v. Schweidler* [212, p. 375] schreibt: „diese Form der lichtelektrischen Wirkung (die positive Elektrisierung ungeladener Körper) ist mit der lichtelektrischen Zerstreuung nahe verwandt, gewissermaßen eine Fortsetzung derselben", so scheinen mir auch diese Worte sich nicht ganz mit der Auffassung von *Hallwachs* zu decken, der die Erregung als den primären Vorgang betrachtet; er sagt nämlich [75, p. 343]: „diese Methode (das Anblasen nach *Bichat* und *Blondlot*), die Erregung zu steigern, gewährte zugleich einen Einblick in den Zusammenhang zwischen der lichtelektrischen Erregung und der lichtelektrischen Entladung, indem man darauf geführt wurde,

[1]) Im Referate (Beibl. **B** (1889), steht (p. 40) versehentlich „positiv".

die Entladung als eine Folge der Erregung zu betrachten, welch letztere durch die elektrostatischen Kräfte der den Platten mitgeteilten negativen Ladungen, ähnlich wie durch einen Luftstrom gesteigert würde". *Righi* spricht [131, h] geradezu von der „elektromotorischen Kraft" der Strahlung, durch die ein in natürlichem Zustande befindliches Metall sich positiv ladet, und vermutet [140], wie oben bereits angedeutet, daß die Photodispersion negativer Elektrizität und die Bildung einer positiven Ladung auf einem beleuchteten Leiter verschiedenartige Vorgänge sind. An diese Vermutung *Righis* knüpfte später *Lenard* [101 b, p. 360] bei seinen epochemachenden Arbeiten über die Erzeugung von Kathodenstrahlen durch ultraviolettes Licht im Vakuum (s. p. 42) an.

D. Zur Geschichte der Theorie der lichtelektrischen Erscheinungen.

Obwohl die Darstellung der Ansichten, die man sich in neuester Zeit über die Ursache und das Wesen der lichtelektrischen Erscheinungen gebildet hat, außerhalb des Rahmens meiner Arbeit liegt, möchte ich doch zum Schlusse einen Blick auf den Weg werfen, der zu ihnen geführt hat.

Die meisten der auf diesem Gebiete tätigen Forscher waren darin einig, daß es sich bei der lichtelektrischen Zerstreuung nicht um Leitung der Elektrizität im gewöhnlichen Sinne, sondern um Konvektion, d. h. um Fortführung der negativen Elektrizität durch fortschreitende materielle Teilchen, handelt. Dementsprechend treten infolge der Abstoßung zwischen der Ladung der Kathode und der auf das benachbarte Gas übergegangenen Ladung ponderomotorische Wirkungen auf, wenn die Kathode sehr leicht beweglich ist. *Bichat* [11] sah ein in einem abgeleiteten Metallzylinder aufgestelltes Flugrädchen, wenn diffus beleuchtet, bei einem negativen Potentiale von 63 elektrostatischen Einheiten (cm—g—sec)[1]), wenn durch Aluminium—Kohlen—Licht beleuchtet, bereits bei einem Potentiale von 22 solcher Einheiten sich drehen; eine zwischengeschaltete Glasplatte hob diese Wirkung auf. *Righi* [129] hängte einen leichten Hebel, der an jedem Ende ein dünnes Aluminiumblättchen trug, bifilar auf und verband eines der Blättchen mit dem negativen Pole einer Zambonischen Säule; bei Belichtung des ganzen Systemes wich das geladene Blättchen zurück, obgleich die Bestrahlung als solche auch auf das andere wirken konnte. Bei positiver Elektrisierung trat keine Bewegung ein. Brachte derselbe Autor [131] zwischen Netz und Platte seines Luftkondensators eine Gipsplatte, so lud sie sich bei der Bestrahlung negativ; von 2 Gipsplatten tat dies nur die dem negativen Metall zunächst stehende. Nach *Zeleny* [193] nimmt Luft, die an einer negativ geladenen und ultraviolett bestrahlten Metallplatte vorbeigeblasen wird, negative Ladung zu einem Elektrometer mit; *v. Schweidler* zeigte [145], daß in der Nähe einer solchen Platte die Raumdichte der freien Elektrizität negativ ist. *Stoletow* hatte [161] den konvektiven Charakter der Erscheinungen bereits aus dem Umstande gefolgert, daß sie nur in Gasen zu beobachten sind, indem Versuche mit festen oder flüssigen Isolatoren stets ein negatives Resultat ergaben. — *Righi* untersuchte [129] ferner die Bahnen, längs deren sich die lichtelektrisch zerstreuten Teilchen bewegen. Ein bis auf einen schmalen, der Achse parallelen Streifen lackierter Zinkzylinder stand negativ ge-

---

[1]) 1 solche Einheit ist = 300 Volt; s. z. B. *Riecke*, Bd. II, p. 78; desgl. *Wüllner*, Bd. III, p. 299.

laden einer großen, geerdeten Zinkplatte gegenüber, die einen vertikalen Spalt hatte; letzterer wurde durch ein isoliertes und mit einem Elektrometer verbundenes, sehr schmales Zinkrechteck nicht ganz ausgefüllt. Die Strahlen wirkten lediglich auf die nicht lackierte Stelle des Zylinders, und das Elektrometer schlug nur dann stark aus, wenn das Zinkrechteck sich da befand, wo die von jener Stelle ausgehenden Kraftlinien (es sind Kreisbogen) auf die Ebene der Zinkplatte stießen. Verschob man die Platte oder drehte den Zylinder, so wurde die Ablenkung schwächer und verschwand schließlich ganz. Weiter befestigte *Righi* [134] einer schräg belichteten Metallplatte M gegenüber eine auf der Rückseite mit abgeleiteter Stanniolbelegung versehene Ebonitplatte T; ein Teil von M wurde durch Firnis oder Papier vor der Belichtung geschützt. Bestreute man nachher T mit Schwefel-Mennige-Pulver, so erschienen die den bestrahlten Teilen von M gegenüberliegenden Stellen rot, entsprechend einer negativen Ladung. Zwischen M und T angebrachte isolierende Diaphragmen lieferten gelbe „elektrische Schatten“ auf rotem Grunde; frisch polierten Teilen von M gegenüberliegende Stellen von T färbten sich lebhafter rot, ebenso solche, die einem aktiveren Metalle (es wurden verschiedene polierte Metallstücke nebeneinander auf M gelegt) gegenüberlagen. Sowohl beim Annähern eines elektrisierten Metallstabes als beim Hindurchblasen eines Luftstromes zwischen M und T wurden die Figuren auf T seitlich verschoben. Aus dieser Verschiebung und der Geschwindigkeit des Luftstromes versuchte *Righi* die Geschwindigkeit der elektrisierten Teilchen zu berechnen; sie nahm ab mit wachsender Entfernung e der Platten und betrug etwa 146 bis 55 m für e = 6,5 bis 16 cm. Bei Verdünnung des die bestrahlte Kathode umgebenden Gases wird [138, 139, 140] die photoelektrische Konvektion diffuser, indem die Bahnen der Teilchen mehr und mehr von den Kraftlinien abweichen und bei sehr geringen Drucken geradlinig zu werden scheinen.

Sobald man den konvektiven Charakter der lichtelektrischen Zerstreuung erkannt hatte, erhob sich die Frage nach der Natur der Träger der fortgeführten negativen Ladung. Die zunächst liegende Idee ist wohl die, daß die Moleküle oder die Partikeln des der bestrahlten Platte benachbarten Gases diese Rolle übernehmen [*Righi* 131, e, i]. Speziell *Hoor* [86] glaubte nachweisen zu können, daß es die Moleküle der an der metallischen Oberfläche kondensierten oder adsorbierten Luftschicht seien, die sich unter der Einwirkung der ultravioletten Strahlen von der Oberfläche entfernen, wenn letztere negativ geladen ist. Er suchte zu zeigen, daß alle Vorgänge, die jene „Plattenatmosphäre“ entfernen, wie vorheriges Aufkitten einer Glas- oder Quarzplatte, Bedecken mit frisch geglühtem Kohlenpulver, Erwärmen, Abspülen mit Wasser, die lichtelektrische Empfindlichkeit einer Zinkplatte herabsetzen oder aufheben. *Hoor* wurde indes von *Stoletow* [160] und *Righi* [133, 136] widerlegt, die beide konstatierten, daß auch Metallplatten, die von ihrer Oberflächengasschicht völlig befreit sind (*Righi* goß z. B. geschmolzenes Zinn in eine Form mit geschliffenem Spiegelglasboden und löste es dann los), das Hallwachs-Phänomen in unverminderter Stärke liefern. Nach *Righi* nimmt die Strahlung dem Metalle unzweifelhaft einen Teil des anhaftenden Gases: belichtet man eine frisch geputzte Zinkplatte durch einen Schirm mit Ausschnitten hindurch und behaucht sie dann, so erscheinen Bilder, ähnlich den Moserschen Hauchbildern; es geschieht dies aber nicht nur, wenn die Platte negativ geladen, sondern auch, wenn sie positiv oder gar nicht geladen ist! Auch die Versuche von *Elster* und *Geitel* mit frisch sich bildenden Amalgamflächen (s. p. 24) widersprechen der Mitwirkung adsorbierter Gasschichten bei der lichtelektrischen Zerstreuung.

Die gegen Ende der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts von *Aitken* und *R. v. Helmholtz*[1]) studierte kondensierende Wirkung von Staub[2]) auf einen Dampfstrahl gab *Lenard* und *Wolf* Veranlassung zu einer Experimentaluntersuchung [108], die es wahrscheinlich machte, „daß Körper durch ultraviolette Bestrahlung zerstäubt werden. Metalle gut, Isolatoren schlecht oder unmerkbar; bei Metallen begünstigt negative Elektrisierung die Erscheinung. Auch Flüssigkeiten geben Staub ab, wenn negativ elektrisch" [l. c., p. 456]. Man brauchte also nur anzunehmen, daß der Staub mit negativer Ladung den Körper verläßt, um durch die Zerstäubung im ultravioletten Lichte auch dessen elektrische Wirkungen verstehen zu können. Dementgegen betonen *R. v. Helmholtz* und *Richartz* [80], daß außer auf Staub der Dampfstrahl auch auf ausströmende Elektrizität, auf gewisse chemische Prozesse, Dissoziationen der Luft und dergl., durch charakteristische Veränderungen in seinem Aussehen reagiert; es müssen nur „Kondensationskerne" geschaffen werden, und als solche kommen hier in erster Linie die Ionen der Luft in Betracht, die nach der von *Giese*[3]), *Schuster* u. a. aufgestellten und wohl allgemein angenommenen Hypothese auch den Transport der Elektrizität vermitteln. Auf ganz direktem, höchst scharfsinnig erdachtem Wege wies später [101] *Lenard* selbst nach, daß wägbare materielle Teilchen des bestrahlten Körpers als Vehikel der negativen Elektrizität bei der lichtelektrischen Zerstreuung nicht in Frage kommen. Eine blanke Oberfläche von Natriumamalgam in Wasserstoff wurde so lange bestrahlt, daß $2{,}9 \cdot 10^{-6}$ Coulombs negativer Elektrizität von derselben entwichen; diese gesamte Elektrizitätsmenge mußte an einen reinen Platindraht getragen werden. Wären Na-Atome die Träger gewesen, so hätte deren Gesamtmenge $0{,}7 \cdot 10^{-6}$ mg betragen müssen; es hätte also, da nach *Bunsen* weniger als $0{,}3 \cdot 10^{-6}$ mg Na durch Spektralanalyse noch deutlich erkennbar sind, der Platindraht nach Aufnahme der Träger die spektralanalytische Na-Reaktion zeigen müssen, was in keiner Weise der Fall war.

Der Versuche *Righis*, die Geschwindigkeit der elektrisierten Teilchen zu bestimmen, ist bereits oben gedacht worden; nach anderen Methoden wurden solche Messungen später unternommen von *Buisson* [28] und besonders von *Rutherford* [142]. Letzterer verwendete zuerst, wie *Righi*, einen zwischen Platte und Netz des Luftkondensators hindurchgeblasenen Luftstrom, erhielt aber die besten Resultate mit folgender Anordnung: er verband die Platte mit einem Elektrometer und das Netz mit dem einen Pole eines Wechselstrom-Transformators, durch den es abwechselnd + und — geladen wurde, wobei sich die Platte durch Influenz abwechselnd — und + lud. Nur bei negativer Ladung macht die Belichtung aus der Platte negative Ionen frei, die sich nach dem Netze hinbewegen. Ist die Entfernung zwischen Platte und Netz sehr gering, so werden sie es noch erreichen und ihre Ladung dort abgeben, bevor die Platte wieder positiv erregt wird; bei größerer Entfernung ist dies nicht mehr der Fall, und die Ionen kehren zur Platte zurück, die dann keinen Elektrizitätsverlust erleidet. Aus dem Abstande, bei dem letzteres gerade eintritt, der Zahl der Wechsel und der maximalen Spannungsdifferenz läßt sich die Geschwindigkeit der Ionen berechnen[4]). *Kaufmann* fand (s. phys.

---

[1]) S. Wied. Ann. **32** (1887), p. 1.

[2]) Über die Rolle, die der Staub fast in der gesamten Physik damals spielte, gibt z. B. das Vorwort zur 7. Auflage des Lehrbuches der Physik von *P. Reis* (1890) Aufschluß („der Staub durchzieht das ganze Buch").

[3]) S. Wied. Ann. **37** (1889), p. 576 ff.

[4]) Vergl. z. B. *Starke*, experiment. Elektrizitätslehre, p. 373 und 374.

ZS. **1** (1899), p. 25) für die durch ultraviolettes Licht erzeugten Ionen dieselbe Beweglichkeit, wie für die durch Röntgenstrahlen erzeugten. *Thomson* [173] bestimmte den Wert des Verhältnisses $\frac{m}{e}$, der Masse des Trägers der negativen Elektrisierung zu seiner Ladung; er stützte seine Methode auf die von *Elster* und *Geitel* entdeckte Wirkung eines Magnetfeldes auf die lichtelektrische Entladung bei niederen Drucken (p. 31), wonach durch ein solches die Bahnen der Ionen zu zykloïdenähnlichen Kurven[1]) gebogen werden und bei einem gewissen Abstande zwischen Platte und Netz letzteres nicht mehr erreichen, sondern zu ersterer zurückkehren. So stellte er fest, „daß der Wert von $\frac{m}{e}$ für die durch ultraviolette Bestrahlung hervorgerufene Entladung derselbe ist, wie für die Kathodenstrahlen". Er war ferner mit Hilfe der von *Wilson* [190, 191] entdeckten Eigenschaft der Ionen, Kerne für die Kondensation von Wasserdampf zu sein, imstande, die Ladung e und damit auch die Masse m eines solchen lichtelektrischen Ions zu ermitteln, und fand letztere der Größenordnung nach übereinstimmend mit der eines der „elektrischen Atome", die von der modernen Physik als Elektronen bezeichnet werden. Den wohl entscheidenden Schritt tat 1900 *Lenard* [101]; ausgehend von dem durch *Elster* und *Geitel* gesicherten streng unipolaren Charakter der lichtelektrischen Wirkung, von der Erkenntnis, daß die Kathodenstrahlen Träger negativer Ladungen seien, und von dem Befunde *Righis*, daß die lichtelektrische Erregung im Gegensatze zu der Zerstreuung mit wachsender Luftverdünnung stets nur zunehme, studierte er die Erscheinungen bei möglichst vollkommenem Ausschlusse der Luft. Es ergab sich, daß die in Luft bekannten charakteristischen Wirkungen des ultravioletten Lichtes, Entladung einer negativ geladenen Elektrode und Annahme einer positiven Ladung bis zu 2,1 Volt seitens einer ungeladenen, auch im äußersten Vakuum bestehen bleiben, und zwar in auffallender Stärke. *Lenard* zeigte mittels durchbohrter Anode und dahinter befindlicher Nebenelektroden[2]), daß die von der belichteten Kathode ausgehenden elektrischen „Quanten" einen Strahl bilden, der durch magnetische Einwirkung abgelenkt wird. *Merritt* und *Stewart* [115], die etwas später unabhängig von *Lenard* ähnliche Versuche anstellten, brachten der Kathode gegenüber eine ringförmige Anode und hinter dieser 3 Nebenelektroden, L(inks), M(itte), R(echts) an. Bei Bestrahlung der Kathode erhielt M eine negative Ladung; bei Anwendung eines magnetischen Feldes von geeigneter Stärke zeigte nicht mehr M, sondern, je nach der Feldrichtung, L oder R die negative Ladung; die Ablenkung war von derselben Größenordnung, wie die der Kathodenstrahlen. 1903 gelang es *Lenard* [105], die bis dahin nur elektrometrisch verfolgten „langsamen Kathodenstrahlen", die im Vakuum mittels ultravioletten Lichtes aus festen Körpern (*Lenard* benutzte meist eine mit Terpentinruß überzogene Aluminiumscheibe) erzeugt werden, durch Phosphoreszenz auch sichtbar zu machen[3]). — Während durch Anwendung elektrischer Kraft allein in dem aufs äußerste evakuierten Rohre keine Kathodenstrahlen erzeugt werden können (die Entladungen eines großen Induktoriums wurden nicht mehr durchgelassen), ermöglicht das ultraviolette Licht diese Erzeugung auch im Vakuum, und zwar nicht nur bei großer, sondern auch bei beliebig geringer äußerer

[1]) S. d. Darstellung von *Zeemann*, Phys. ZS. **1** (1900), 575—578.

[2]) Abbildung des Apparates s. ZS. f. phys. u. chem. Unt. **13** (1900), p. 285.

[3]) Abbildung der dazu benutzten Vorrichtung s. ZS. f. phys. u. chem. Unt. **17** (1904), p. 41.

Spannung. Die in der Zeiteinheit entweichende Elektrizitätsmenge ist von der vorhandenen elektrischen Spannung innerhalb sehr weiter Grenzen (— 45000 bis — 120 Volt) unabhängig; von etwa — 100 Volt ab nimmt sie mit weiter sinkender Spannung allerdings deutlich ab, ist aber auch bei der Spannung Null noch nicht gleich Null; die Menge Null gehört vielmehr zur Spannung + 2,1 Volt, derselben, die sich bei anfänglich unelektrischer Elektrode von selbst einstellt. Dagegen beeinflußt die elektrische Spannung sehr wesentlich die weitere Bewegung der mit einer bestimmten, nach der Lichtart verschiedenen Anfangsgeschwindigkeit austretenden negativen Elektronen, indem sie, wenn negativ, beschleunigend (wenn positiv, verzögernd) auf dieselbe wirkt. Befindet sich der belichtete Körper im gaserfüllten Raume, so gestalten sich die Erscheinungen komplizierter; die Kathodenstrahlen werden in dem Gase zum Teile absorbiert [*Lenard* 106], und die Elektronen bilden sich zu negativen Ionen um, wozu bei hinreichender Geschwindigkeit der Elektronen (infolge starken elektrischen Feldes) noch Neubildung von Ionen durch Ionenstoß tritt. Da in einigermaßen dichten Gasen diese Neubildung von Ionen nur nahe an der belichteten Oberfläche stattfinden wird, so kommen als Träger der Elektrizitätsbewegung im übrigen Gasraume nur n e g a t i v e I o n e n in Betracht, wodurch [s. *v. Schweidler*, 212, p. 390] der streng unipolare Charakter der lichtelektrischen Erscheinungen erklärlich wird. Als das Grundphänomen, auf dem diese beruhen, ist demnach die E m i s s i o n n e g a t i v e r E l e k t r o n e n seitens des belichteten Körpers zu betrachten. Die Bewegungen der Elektronen sind wahrscheinlich schon innerhalb der Körperatome vorhanden [104], und das Licht spielt nur eine auslösende Rolle, indem es bei der Absorption in der Oberflächenschicht des bestrahlten Körpers durch einen resonanzartigen Vorgang die Elektronen in fortschreitende Bewegung versetzt, sodaß sie den Körper verlassen können.

II.

Die lichtelektrische Erregung mit Hilfe der p. 37 erwähnten Versuchsanordnung von *Hallwachs* nachzuweisen, ist mir nicht gelungen; wahrscheinlich war das empfindlichste meiner Elektroskope, ein Fechnersches, für diesen Zweck doch noch nicht empfindlich genug.

Es mögen deshalb zuerst einige einfache Versuche über die l i c h t e l e k t r i s c h e Z e r s t r e u u n g oder den Hallwachs-Effekt, als die in gewissem Sinne primäre Erscheinung, beschrieben werden. Ich benutze als lichtempfindlichen Körper eine kreisförmige (hohle) Zinkscheibe von etwa 6 cm Durchmesser, die mittels eines angelöteten Stückes Messingrohr auf eine von der Kugel befreite Polstange der Influenzmaschine oder auf irgend einen Draht aufgesteckt werden kann. Ihre Vorderfläche wird mit feinstem Schmirgelpapiere abgeputzt, einen Augenblick in verdünnte Schwefelsäure getaucht und alsdann mit Quecksilber in Berührung gebracht, das daran haftet und mit Watte gründlich eingerieben wird, sodaß nach Abspülen mit Wasser und energischem Abtrocknen die ganze Fläche möglichst gleichmäßig weiß glänzt. Will man sie später frisch amalgamieren, so bedarf es dazu, falls sie nicht sehr lange gelegen hat, nicht wieder der Anwendung von Schwefelsäure. Eine solche Zinkscheibe stecke ich auf den Haken, der seitlich am Knopfe eines Kolbeschen Papierelektroskopes angebracht zu sein

pflegt[1]), sodaß die wirksame Fläche nahezu vertikal ist. Das so vorgerichtete Elektroskop wird in einer Entfernung von etwa 50 cm einer Bogenlampe gegenübergestellt; befindet sich letztere in einem Gehäuse, so sind sämtliche Gläser, ev. auch das zum Schutze der Linsen angebrachte Hartglas, herauszunehmen. Ich benutze meist einen einfachen Handregulator ohne jede Laterne; der Einfluß der Lampenprodukte stört bei unseren Versuchen nicht. Übrigens kann man bei Verwendung einer Laterne auch die seitlich oder rückwärts gelegene Tür öffnen und mit dem heraustretenden Lichte operieren.

1. Versuch. Das Elektroskop wird negativ bis zu möglichst starker Divergenz der Papierblättchen geladen; letztere ändert sich im Verlaufe etwa einer Minute nicht merklich, wenn die Isolation gut ist. In dem Augenblicke aber, wo der Lichtbogen angezündet wird, beginnen die Blättchen sichtlich zusammenzufallen, und nach höchstens 30 bis 40 Sekunden hängen sie parallel herab. Der Versuch zeigt das Entweichen negativer Elektrizität unter dem Einflusse der Bestrahlung.[2])

2. Versuch. Das Elektroskop wird ebenso stark positiv geladen; Anzünden des Lichtbogens bewirkt keine merkbare Divergenzabnahme. Der Versuch zeigt, daß die Bestrahlung auf positive Ladungen keinen Einfluß hat.[2])

3. Versuch. Ein zweites, einigermaßen empfindliches Elektroskop (also ein solches mit Gold- oder Aluminiumblättchen) wird vor dem ersten so aufgestellt, daß sich sein Knopf in einer Entfernung von 4 bis 5 cm von der Zinkscheibe etwas unterhalb dieser befindet, damit kein Schatten auf sie fällt; dasselbe sei a) ungeladen, b) schwach negativ, c) schwach positiv geladen. Beginnt im Momente der Bestrahlung das Zusammenfallen der Papierblättchen im ersten Elektroskope, so tritt gleichzeitig bei a) ein Auseinandergehen, bei b) ein weiteres Auseinandergehen, bei c) ein Zusammenfallen und nachheriges Auseinandergehen der Metallblättchen im zweiten ein; die Probe mittels eines geriebenen Hartgummistabes beweist, daß in jedem, auch im letzten Falle die schließliche Ladung negativ ist. Der Versuch zeigt die unter der Einwirkung der Bestrahlung stattfindende Konvektion der negativen Elektrizität zu benachbarten Leitern hin.

4. Versuch. Man stellt 2 mit Zinkplatten armierte Papierelektroskope dicht nebeneinander auf, ladet das eine negativ, das andere ebenso stark positiv und setzt sie gleichzeitig der Bestrahlung aus. Ich gestehe, daß ich im ersten Momente etwas beunruhigt war, als bei beiden gleichmäßig die Papierblättchen zusammenzufallen begannen und gleichzeitig in der Ruhelage anlangten. Die Belichtung schien in diesem Falle auf positive Elektrizität ebenso zu wirken, wie auf negative, im Widerspruche mit den unzweideutigen Resultaten des 1. und 2. Versuches. Nähere Überlegung zeigt natürlich, daß hier der Fall 3c vorliegt; die entweichende — Elektrizität geht zum positiv geladenen Elektroskope und neutralisiert dessen gleichstarke + Ladung, sodaß am Schlusse beide Elektroskope entladen sind. Stellt man beide möglichst weit voneinander, aber wiederum gleich weit von der Lichtquelle, auf, so wird nur das negative entladen, das andere behält seine Ladung, und man hat so die Versuche 1 und 2 in einwandfreier Weise kombiniert.

5. Versuch. Man bringt, während der 1. oder 3. Versuch im Gange ist, eine Glasplatte (Fensterscheibe) zwischen Lichtquelle und Zinkscheibe; die Bewegung der Elektroskop-

[1]) S. *Kolbe*, Einführung in die Elektrizitätslehre (1893), I, p. 8, Fig. 4.

[2]) S. *Kolbe*, l. c., p. 98, wo beide Versuche mit Verwendung von Magnesiumlicht kurz beschrieben werden.

blättchen hält augenblicklich inne, um sich nach Entfernung der Glasplatte ebenso augenblicklich fortzusetzen. Der Versuch zeigt, daß in der Hauptsache nicht die sichtbaren, sondern die ultravioletten Strahlen die lichtelektrische Wirkung hervorrufen.

6. Versuch. Man ladet ein beliebiges, nicht mit der Zinkscheibe armiertes Elektroskop positiv; beim Belichten tritt keine Änderung der Ladung ein. Nähert man nun der Elektroskopkugel die amalgamierte Zinkscheibe, die man behufs Ableitung zur Erde in der Hand hält, bis auf etwa 1 cm so, daß sie möglichst voll von den Lichtstrahlen getroffen wird, so fallen die Blättchen des Elektroskops zusammen. Dieser Versuch [nach *Elster* und *Geitel* 39, p. 509] beweist wiederum das Austreten negativer Elektrizität aus der amalgamierten Zinkfläche beim Belichten.

Wird hinter dem Lichtbogen ein metallener Hohlspiegel aufgestellt, etwa ein solcher, wie sie für die Experimente mit strahlender Wärme gebräuchlich sind, so lassen sich die obigen Versuche mit Ausnahme von no. 4 leicht auf Entfernungen bis zu etwa 2 m wiederholen. Die dabei auftretende Erwärmung der Zinkscheibe schadet zum mindesten nichts. — Hat man kein Bogenlicht zur Verfügung, so können die Versuche (auf kürzere Entfernungen) mit brennendem Magnesiumband angestellt werden, was freilich mancherlei Unbequemlichkeiten mit sich bringt. — Alle 6 Versuche sind mir im Zimmer am offenen Fenster auch mit Sonnenlicht gelungen, wobei das Belichten und Nichtbelichten durch Wegziehen und Vorschieben eines großen Stückes Pappe bewirkt wurde; eine Glasplatte lieferte nicht ganz so unzweideutige Erfolge (vergl. p. 22). Ich benutzte den hellsten Mittagssonnenschein, und zwar (im Jahre 1905) am 10., 28. und 30. Juni, also bei hohem Sonnenstande.

Was nun weiter die Beeinflussung der Funkenentladung durch die Belichtung, also den Hertz-Effekt, betrifft, so berichten manche Lehrbücher der Physik darüber in einer Ausdrucksweise, die jemanden, der die Versuche anstellen will, wohl etwas irre führen kann. Man liest nämlich meist folgendes: „Entfernt man die Kugeln, zwischen denen die Funken (eines Induktors oder einer Influenzmaschine) überschlagen, so weit voneinander, daß eben keine Entladungen stattfinden, so treten dieselben sofort wieder auf, wenn man die negative Elektrodenkugel mit ultraviolettem Lichte bestrahlt“. Das klingt doch, als würde die maximale Funkenlänge, die ein Induktor oder eine Influenzmaschine bei voller Beanspruchung zu liefern vermag, durch die Bestrahlung vergrößert, und diese Behauptung ist in solcher Allgemeinheit unrichtig. Man denke daran, wie *Hertz* die Empfänglichkeit kurzer Funken betont (p. 5), wie *Zickler* (p. 15) von dieser Bemerkung Gebrauch macht, und wie endlich die von *Elster* und *Geitel* entdeckte „Hemmung“ der Entladung (p. 10) jener Behauptung direkt widerspricht. Übrigens steht bei *Wüllner* (Bd. III, p. 424) durchaus korrekt: „Der Einfluß der Belichtung tritt am deutlichsten bei kleinen Funkenstrecken auf; bei Anwendung großer Funkenstrecken ist der Einfluß auf das Entladungspotential nicht merklich.“

Für den Hertzschen Versuch mit 2 Induktoren allgemeine Vorschriften zu geben, ist nicht wohl angängig, da man meist von der Beschaffenheit der vorhandenen Apparate abhängig sein wird und deshalb mehr oder weniger auf Probieren angewiesen ist. Ich will daher nur kurz andeuten, mit welcher Anordnung ich zum Ziele gelangte. Ich schalte 2 kleine Induktoren, deren einer (I) 11 mm, der andere (II) 20 mm maximale Schlagweite (zwischen Spitzen) besitzt, hintereinander in denselben Stromkreis, der von 1 oder 2 Akkumulatoren gespeist wird. Den Unterbrecher des einen schraube ich dicht an den Eisenkern heran, sodaß er unbeweglich ist

und nicht unterbricht; den des anderen lasse ich so leise wie möglich gehen. Jede der beiden Sekundärspulen wird mit einer besonderen Funkenstrecke verbunden, die aus einem Henleyschen Auslader oder einem Funkenmikrometer gebildet sein, ev. auch (z. B. mit Hilfe zweier Holtzschen Fußklemmen) leicht improvisiert werden kann; beide Funkenstrecken mögen mit blankgeputzten Messingkugeln versehen sein. Die vorn abgerundeten Zinkstäbchen mancher Funkenmikrometer sind speziell für den passiven Funken weniger geeignet. Die Funkenstrecken stehen in etwa $^3/_4$ m Entfernung parallel einander gegenüber und sollen zunächst durch einen dazwischengestellten Pappschirm füreinander unsichtbar gemacht sein. Ich reguliere nun den Gang des Unterbrechers und die Stromstärke, letztere nötigenfalls durch Vorschalten von Widerstand[1]), so, daß in der einen Funkenstrecke A ein ununterbrochener Funkenstrom von 2 bis 5 mm Länge auftritt; hierauf stelle ich die zweite, B, so ein, daß eben nur noch einzelne Funken überspringen. Entferne ich dann den Pappschirm, so erhalte ich auch in B einen regelmäßigen Funkenstrom, dessen Länge sich meist noch etwas vergrößern läßt. Ist letzteres geschehen, so bleiben beim abermaligen Einschalten des Schirmes die Funken bei B unter günstigen Umständen ganz aus, um beim Wegziehen wieder aufzutreten, usf. Die Stelle des Pappschirmes kann ohne weiteres eine Glasscheibe vertreten. — Es ist mir fast immer gelungen, die Verhältnisse umzukehren, d. h. den eben noch passiven Funken B durch Verkürzung zum aktiven, den eben noch aktiven A durch geringe Verlängerung zum passiven zu machen, und zwar unabhängig davon, welcher der beiden Unterbrecher gerade im Gange ist. Ich glaube die Meinung von *Hertz* [82 a, p. 984] bestätigen zu dürfen, daß jedes beliebige Paar von Induktionsapparaten brauchbar ist[2]); mit einem größeren Induktor (III), der bei 12 Volt Betriebsspannung mit Platinunterbrecher 15 cm lange Funken (zwischen Spitze und Platte) liefert, aber im vorliegenden Falle durch einen Deprez-Unterbrecher betätigt wurde, gelangen in Verbindung mit II die Versuche gerade so gut. Die Betriebsspannung betrug hierbei 6 Volt; der Deprez-Unterbrecher wurde, falls er die Unterbrechungen besorgte, auf möglichst leisen Gang gestellt, sodaß auch die Funken des großen Apparates kurz, nicht über 1 cm lang, blieben.

Leichter läßt sich die Wirkung des Bogenlichtes demonstrieren. Ein beliebiger Induktor wird durch einen für seine Verhältnisse schwachen Strom betrieben und der Unterbrecher so eingestellt, daß nur gerade noch Funken zwischen den Kugeln des mit der Sekundärspule verbundenen Ausladers überspringen; bei dem Apparate II verwendete ich 2 Volt Betriebsspannung und Fünkchen von 1 bis 2 mm Länge, bei III 4 Volt und Funken bis zu 1 cm. Sind die Kugeln ganz wenig über diese Schlagweite auseinandergezogen, sodaß der Funkenstrom eben aussetzt, so tritt er beim Bestrahlen mit großer Sicherheit wieder auf. Die Versuche gelangen mit dem kleinen Induktor bis auf 1,5 m, mit dem großen bis auf 2,5 m Entfernung ohne jede Schwierigkeit. Vorhalten eines Schirmes aus Pappe oder Glas vor die Bogenlampe läßt, wenn er nicht sehr groß ist, meist die Funken nicht völlig wieder verschwinden, sodaß sie vereinzelt

[1]) In dem bereits citierten schönen und inhaltreichen Werke „Die Telegraphie ohne Draht" von *Righi* und *Dessau* steht p. 426, daß der Strom sich in die Primärspulen der beiden Induktoren „verzweigt", und daß man die Stromintensität nur in demjenigen Induktor, der den passiven Funken liefert, durch Einschaltung eines Widerstandes herabsetzen soll. Die dazu gegebene Fig. 237 stellt aber die von mir nach *Hertz* beschriebene Anordnung dar, bei der durch Einschalten von Widerstand die Stromstärke in beiden Induktoren vermindert wird.

[2]) Die entgegengesetzte Ansicht äußert *Klemenčič* [98].

noch überspringen; daß die Ursache hiervon diffus durch die Umgebung reflektiertes elektrisches Licht ist, zeigt sich, sobald man den Lichtbogen auslöscht;— es springt dann, wenn die Einstellung gut getroffen ist, kein Funke mehr über. Dreht man die Funkenstrecke nach der einen und dann nach der anderen Seite soweit, daß die Lichtquelle nahezu in ihre Verlängerung und die Vorderfläche der einen Elektrode in den Schatten zu liegen kommt, so findet man, daß die Wirkung der Strahlung in dem einen Falle ab-, in dem anderen eher zunimmt; Prüfung mittels des Elektroskopes (das man durch überspringende Fünkchen laden läßt) lehrt, daß diejenige Stellung im Vorteile ist, bei der sich die negative Elektrode der Lichtquelle mehr zukehrt. Schützt man die Funkenstrecke durch einen kleinen, dicht davor gehaltenen Schirm, belichtet sie aber von rückwärts her durch einen ebenen oder konkaven Metallspiegel, so erweist sich das reflektierte Licht als recht wirksam. Wird hinter der passiven Funkenstrecke in den sekundären Stromkreis des Induktors noch eine Geißlersche Röhre eingeschaltet, die möglichst im Dunkeln aufgestellt ist, so leuchtet sie bei Bestrahlung der Funkenstrecke in gewohnter Weise, während sonst ihr Licht nur vereinzelt und schwach aufblitzt. Läßt man sie mittels eines der bekannten Apparate[1]) rotieren, so erscheint nur, wenn die Funkenstrecke belichtet ist, der vielstrahlige Stern. Für das größte Auditorium endlich kann der Einfluß der Belichtung sichtbar und besonders hörbar gemacht werden, wenn eine kleine Leidener Flasche parallel mit der Funkenstrecke geschaltet wird; die Länge der letzteren (Induktor III) muß dann natürlich besonders abgepaßt werden; betrug sie ohne die Verstärkungsflasche 1 cm, so erwiesen sich mit derselben 2 bis 3 mm als geeignet. Man kann durch rhythmisches Entfernen und Einschieben einer Glasplatte zwischen Lichtbogen und Funkenstrecke die letztere einen förmlichen Marsch trommeln lassen.

Es bietet keine allzugroßen Schwierigkeiten, *Zicklers* „lichtelektrische Telegraphie" im kleinen mittels eines mit selbsttätigem Klopfer versehenen Kohärers zu demonstrieren; doch wurde ich durch die Raumverhältnisse genötigt, den Kohärer in der Nähe der Bogenlampe, also des Senders, aufzustellen, da er sonst zu nahe am Induktor stand und durch dessen Unterbrechungsfunken auch ohne Belichtung der Funkenstrecke dauernd angeregt wurde. Gewisse Vorsichtsmaßregeln würden diesem Übelstande abhelfen; das Prinzip von *Zicklers* Verfahren ist aber durch die vorher beschriebenen Versuche wohl genügend klargelegt.

Um den Einfluß der Belichtung auf eine bereits im Gange befindliche Funkenentladung wahrzunehmen, führt man von der einen Polstange einer Influenzmaschine eine Leitung zu der Funkenstrecke, dann weiter zu einem Telephon und von diesem zur anderen Polstange. Die Polkugeln sind weit auseinandergezogen, die Funkenstrecke dagegen sei recht kurz, nur etwa 1 mm lang. Das von mir benutzte Telephon ist ein gewöhnliches älteres Modell mit Hartgummihülse; die Leitungsschnüre dürfen, falls sie einigermaßen gut isoliert sind, auf dem Tische aufliegen. Wird nun durch gleichmäßiges Drehen der Maschine eine rasche Funkenfolge erzeugt, so hört man im Telephon einen mehr oder weniger geräuschähnlichen Ton, der im Momente der Belichtung der Funkenstrecke nicht nur reiner und stetiger wird, sondern merklich in die Höhe springt. Bei dem Induktor ist die zuletzt erwähnte Änderung nicht bemerkbar, da hier die Frequenz der Funken durch diejenige der Unterbrechungen des primären Stromes bedingt ist.

---

[1]) S. etwa *Abendroth*, l. c., p. 180, Fig. 87.

Der Versuch mit der Influenzmaschine gelang ohne weiteres bis auf eine Entfernung von etwa 2 m; bei Aufstellung eines Hohlspiegels hinter dem Lichtbogen konnte sie bis auf 4 m vergrößert werden. Mittels einer Glasplatte lassen sich auch hier deutliche Signale geben.

Die „Hemmung" der Entladung durch das Belichten läßt sich besonders leicht und sicher (ev. auch ganz gut mit Magnesiumlicht) demonstrieren und ist zugleich eine sehr auffallende Erscheinung, namentlich, wenn der oben beschriebene Versuch mit den durch eine Leidener Flasche verstärkten Induktorfunken vorangegangen ist. Da ich im allgemeinen ohne Gehilfen arbeite, betreibe ich die Maschine durch einen kleinen Elektromotor[1]), dessen Umdrehungsgeschwindigkeit durch einen Kurbelrheostaten reguliert wird. Die Influenzmaschine, eine selbsterregende mit 2 rotierenden Scheiben, vermag bei Einschaltung ihrer Kondensatoren Funken von 12 cm zwischen einer (positiven) Kugel und einer (negativen) Scheibe zu liefern. Ich armiere die negative Polstange mit einer frisch amalgamierten Zinkscheibe, während die positive ihre blanke Messingkugel trägt, und lasse die Maschine so laufen, daß kräftige Funken von 6 bis 8 cm Länge in regelmäßiger Folge überschlagen. Der Zinkscheibe gegenüber steht in einer Entfernung von 2 bis 3 m (bei Verwendung eines Hohlspiegels darf sie noch größer sein) die Bogenlampe, und zwar etwas seitwärts von der Verlängerung der Funkenstrecke, sodaß der Schatten der positiven Kugel nicht oder doch nur wenig auf die amalgamierte Fläche fällt. Sobald nun das Licht die letztere trifft, schweigt das knallende Funkenspiel vollkommen, um nicht nur beim Auslöschen des Lichtbogens, sondern auch schon beim Vorhalten einer Glasplatte vor diesen mit einer Exaktheit wieder einzusetzen, die etwas geradezu Verblüffendes hat. Man kann mittels der Glasplatte Funken einzeln oder zu mehreren mit größter Sicherheit förmlich „herausschlagen" und auf diese Weise eine Art von umgekehrter lichtelektrischer Telegraphie darstellen. Wird die Bogenlampe der positiven Polkugel gegenübergestellt, sodaß die amalgamierte Zinkfläche im Schatten liegt, so unterdrückt das durch einen Metallspiegel von rückwärts her auf diese reflektierte Licht ebenso sicher die Funken, wie vorher das direkte. Wird endlich die Verbindung zwischen den äußeren Belegungen der beiden Kondensatoren gelöst, sodaß an Stelle der knallenden Funken ein prasselndes Büschel von der Anodenkugel zur Kathodenscheibe geht, so verschindet auch dieses im Momente der Belichtung, um bei deren Aufhören sofort wieder aufzutreten.

III.

Nach Beendigung meiner Literaturzusammenstellung, die mit dem ersten Drittel des Jahres 1904 abschließt, wurde ich durch eine Notiz von Herrn *Hallwachs* (phys. ZS. **6** (1905), p. 376) zufällig auf eine Arbeit des Herrn *E. von Schweidler* im „Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik", **1** (1904), p. 358 bis 400, aufmerksam. Das von diesem Autor im Jahre 1898 bereits gebrachte Literaturverzeichnis [s. 145] hatte mir zur willkommenen Kontrolle des meinigen gedient und sollte durch letzteres ergänzt und fortgeführt werden. Die Ergänzung bis 1904 einschl. ist nun aber in der neueren, sehr verdienstlichen Arbeit [212] durch Herrn *von Schweidler* selbst

[1]) Bezogen zum Preise von 25 Mark bei G. Schmager in Leipzig; Betriebsspannung 6 bis 8 Volt.

erfolgt, und die Veröffentlichung meines Verzeichnisses erscheint daher vielleicht überflüssig. Trotzdem möchte ich sie (schon als integrierenden Bestandteil des I. Teiles der vorliegenden Arbeit) nicht unterdrücken, da meine Zusammenstellung in einigen Punkten die *Schweidler*sche vervollständigt (s. d. Bemerkung am Ende), und da ich insbesondere von Anfang an darauf bedacht war, erstens den wörtlichen Titel der betr. Abhandlung (*v. S.* gibt Schlagworte mit ungefährer Inhaltsangabe), zweitens zur Charakterisierung ihrer Länge die Anzahl der Seiten, die sie umfaßt, anzuführen und drittens möglichst häufig auf bequem zugängliche Referate (hier in [ ] gesetzt) zu verweisen. Wer sich über die Theorie der lichtelektrischen Erscheinungen vom modernen Standpunkte aus eingehender unterrichten will, dessen Aufmerksamkeit sei hiermit, außer etwa auf die Werke von *Stark*[1]) und *J. J. Thomson*[2]), nachdrücklich auf jene Arbeit *v. Schweidlers* hingelenkt.

Bezüglich der gebrauchten Abkürzungen bedarf es wohl nur der Bemerkung, daß mit „W. A." die Annalen der Physik u. Chemie von Wiedemann, mit „D. A." die Annalen der Physik von Drude und mit „B." die Beiblätter zu diesen Annalen bezeichnet sind. Bei den „Wien. Ber." (Sitzungsberichte d. Kaiserl. Akademie der Wissenschaften zu Wien) ist immer „mathem.-naturwiss. Klasse, Abteil. II^a" hinzugefügt zu denken. Die Jahreszahl eines Referates ist, falls nicht besonders angegeben, dieselbe, wie die der Originalarbeit. Eine etwa mit p. hinzugefügte Zahl bezeichnet die Seite der vorliegenden Abhandlung, auf der die betr. Arbeit citiert ist.

1. **S. Arrhenius.** Über das Leitungsvermögen der phosphoreszierenden Luft. W. A. **32** (1887), 545—572. p. 17.
2. — Über das Leitungsvermögen beleuchteter Luft. W. A. **33** (1888), 638—643. p. 17.
3. — Über den Einfluß der Sonnenstrahlung auf die elektrischen Erscheinungen in der Erdatmosphäre. Meteor. ZS. **5** (1888), 297—304, 348—360 [B. **13** (1889), 328].
4. — Über die Leitfähigkeit der Gase. Phil. Mag. (5) **31** (1891), 415—418 [B. **15**, 595].
5. **P. Bachmetjew.** Über den Einfluß elektrischer Funken auf die Entladung in Gasen. a) Journ. d. russ. phys.-chem. Ges. (7—8) **21** (1889), 207—216 [B. **14** (1890), 315]. — b) Exn. Rep. **26** (1890), 604—612 [B. **15** (1891), 131].
6. **W. C. Baker.** Mitteilungen über den Einfluß des ultravioletten Lichtes auf die Entladung in einer Vakuumröhre mit polierter Zinkelektrode. Proc. Cambr. Phil. Soc. **11** (1902)[3]), 472—476 [B. **27** (1903), 84]. p. 12.
7. **Batelli u. Garbasso.** Über die Zerstreuung elektrischer Ladungen durch die ultravioletten Strahlen. Nuov. Cim. (4) **3** (1896), 321—324 [B. **20**, 916]. p. 35.
8. **Beattie u. M. Smoluchowski.** Leitfähigkeit, erzeugt in Gasen durch Röntgenstrahlen, ultraviolettes Licht u. Uran, u. über einige Folgen davon. Phil. Mag. (5) **43** (1897), 418—439 [B. **22** (1898), 184].
9. **E. Becquerel.** Bemerkungen zu einer Note des Herrn Stoletow. C. R. **106** (1888), 1213—1214.
10. **H. Benndorf.** Notiz über die photoelektrische Empfindlichkeit des Eises. Wien. Ber. **109** (1899), 695—698 [B. **24**, 1184]. p. 29.
11. **Bichat.** Über die aktinoelektrischen Erscheinungen. C. R. **107** (1888), 557—559 [B. **13** (1889), 39]. p. 38. 39.
12. **Bichat u. Blondlot.** Wirkung der ultravioletten Strahlen auf den Durchgang von Elektrizität von schwacher Spannung durch die Luft. C. R. **106** (1888), 1349—1351 [B. **12**, 605]. p. 27. 28.
13. — Vereinte Wirkung des Anblasens und Beleuchtens der auf Leitern angehäuften elektrischen Schichten. C. R. **107** (1888), 29—31 [B. **13** (1889), 38]. p. 29. 37. 38.

[1]) *J. Stark*, Die Elektrizität in Gasen, Leipzig 1902.

[2]) *J. J. Thomson*, Conduction of electricity through gases, 1903. Eine deutsche Ausgabe, besorgt von *E. Marx*, ist zur Zeit (Neujahr 1906) im Erscheinen begriffen.

[3]) Bei *von Schweidler* [212] unter 1903 aufgeführt.

14. **R. Blondlot.** Wirkung eines polarisierten Bündels sehr brechbarer Strahlen auf sehr kleine elektrische Funken. C. R. **136** (1903), 487—489 [B. **27**, 581]. p. 12.

15. **J. Borgmann.** Über den Einfluß des Lichtes auf elektrische Entladungen. Phil. Mag. (5) **26** (1888), 272—273 [B. **13** (1889), 42]. p. 12. 30.

16. — Über die aktinoelektrischen Erscheinungen. a) C. R. **108** (1889), 733—735 [B. **13**, 565]. — b) Journ. d. russ. phys.-chem. Ges. (2) **21** (1889), 23—26 [B. **14** (1890), 325]. p. 30.

17. **R. Börnstein.** Bemerkung über die Messung der luftelektrischen Zerstreuung bei Ballonfahrten. Phys. ZS. **3** (1902), 408—409 [B. **26**, 987]. p. 34.

18. **E. Branly.** Verlust beider Elektrizitäten bei Beleuchtung durch sehr brechbare Strahlen. C. R. **110** (1890) 751—754 [B. **14**, 539]. p. 33.

19. — Photoelektrische Ströme zwischen den beiden Platten eines Kondensators. Ibid. 898—901 [B. **14**, 541]. p. 33.

20. — Über den Verlust der Elektrizität. Lumière électr. **41** (1891), 143—144 [B. **15**, 662]. p. 33.

21. — Verlust beider Elektrizitäten durch sehr brechbare Strahlen. C. R. **114** (1892), 68—70 [B. **16**, 449 u. (!) **17** (1893), 483]. p. 33.

22. — Über den Elektrizitätsverlust im diffusen Lichte und in der Dunkelheit. C. R. **116** (1893), 741—744 [B. **17**, 675]. p. 23.

23. — Über den Verlust der Elektrizität im Tageslichte. Journ. d. Phys. (3) 2 (1893), 300—305 [B. **18** (1894), 141]. p. 23.

24. — Verlust der Elektrizität bei der Belichtung von Halbleitern. C. R. **120** (1895), 829—831. p. 33.

25. — Über die Zerstreuung der Elektrizität durch leuchtende Körper und durch elektrische Funken. C. R. **123** (1896), 643 [B. **21** (1897), 143].

26. **Breisig.** Über die Einwirkung des Lichtes auf elektrische Entladungen in verschiedenen Gasen. Dissert. Bonn 1891, 36 pp. [B. **17** (1893), 60]. p. 29. 31.

27. **Brillouin.** Ein Beitrag zur Erklärung der Luftelektrizität. Ciel et Terre **18** (1897), 359 [Meteor. ZS **15** (1898), 38; Fortschr. d. Phys. i. J. 1897, II, 433]. p. 29.

28. **H. Buisson.** Messung der Geschwindigkeit der elektrisierten Teilchen in den durch das ultraviolette Licht hervorgerufenen Entladungen. C. R. **127** (1898), 224—226 [B. **22**, 802]. p. 41.

29. — Über eine Veränderung metallischer Oberflächen unter dem Einflusse des Lichtes. C. R. **130** (1900), 1298—1300. p. 32.

30. — Wie no. 29. Ann. d. chim. et phys. (7) **24** (1901), 320—398. p. 32. 35.

31. — Einfluß des Lichtes auf die elektrischen Oberflächeneigenschaften. a) Éclair. électr. **29** (1901), 7—15. — b) Journ. d. Phys. (3) **10** (1901), 597—608 [B. **26** (1902), 422].

32. **M. Cantor.** Über die Zerstreuung der Elektrizität durch das Licht. Wien. Ber. **102** (1893), 1188—1196 [B. **19** (1895), 583]. p. 27.

33. **Dufour, Dutoit u. Hofer.** Elektrizitätsverlust unter der Wirkung des Lichtes. Arch. d. Gen. (3) **34** (1895), 294 [Natw. Rundsch. **10**, 672; B. **20** (1896), 401]. p. 20. 31.

34. **K. Dunker.** Einfluß des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung. ZS. f. phys. u. chem. Unt. **12** (1899), 276.

35. **H. Ebert.** Über elektrische Messungen im Luftballon. Beitr. zur Geophysik **6** (1903), 66—86 [B. **27**, 1006]. p. 28.

36. **H. Ebert u. E. Wiedemann.** Über elektrische Entladungen. W. A. **49** (1893), 1—31. p. 9.

37. **J. Elster.** Beobachtungen der normalen Luftelektrizität. Verhandl. d. Ges. Deutsch. Naturf. u. Ärzte. Halle 1892, 21—25. [B. **16**, 697]. p. 24.

38. **J. Elster u. H. Geitel.** Notiz über die Zerstreuung der negativen Elektrizität durch das Sonnen- und Tageslicht. W. A. **38** (1889), 40—41. p. 22. 37.

39. — Über die Entladung negativ elektrischer Körper durch das Sonnen- und Tageslicht. Ibid. 497—514. p. 22. 23. 24. 28. 37. 45.

40. — Tagebl. d. 62. Naturforschervers. Heidelberg 1889, 204 (kurzer Bericht über no. 39). p. 22.

41. — Über einen hemmenden Einfluß der Belichtung auf elektrische Funken- u. Büschelentladungen. W. A. **39** (1890), 332—335. p. 9.

42. — Über die Verwendung des Natriumamalgams zu lichtelektrischen Versuchen. W. A. **41** (1890), 161—165. p. 25.

43. — Über den hemmenden Einfluß des Magnetismus auf lichtelektrische Entladungen in verdünnten Gasen. W. A. **41** (1890), 166—176. p. 29. 31.

44. — Elektrische Beobachtungen auf dem hohen Sonnblick. Wien. Ber. **99** (1890), 1008—1027 [B. **15**, 663]. p. 24.

45. **J. Elster u. H. Geitel.** Notiz über eine neue Form der Apparate zur Demonstration der lichtelektrischen Entladung durch Tageslicht. W. A. **42** (1891), 564–567. p. 25.
46. — Über die Abhängigkeit der durch das Licht bewirkten Elektrizitätszerstreuung von der Natur der belichteten Oberfläche. W. A. **43** (1891), 225—240. p. 25. 26 34.
47. — Über die durch Sonnenlicht bewirkte elektrische Zerstreuung von mineralischen Oberflächen. W. A **44** (1891), 722—736. p. 28.
48. — Lichtelektrische Versuche: 1. Über das Verhalten von Alkalimetallkathoden in Geißlerschen Röhren. 2. Bemerkungen zu dem Verhalten der lichtelektrischen Zerstreuung im magnetischen Felde. 3. Über die Messung photoelektrischer Ströme in Kaliumzellen mittels des Galvanometers. W. A. **46** (1892), 281—291. p 12. 22. 25. 26. 31.
49. — Beobachtungen des atmosphärischen Potentialgefälles u. der ultravioletten Sonnenstrahlung. a) Wien. Ber. **101** (1892), 703—856. — b) W. A. **48** (1893), 338—373. p. 24.
50. — Über die Vergleichung von Lichtstärken auf photoelektrischem Wege. W. A. **48** (1893), 625—635. p. 20. 26. 30.
51. — Weitere lichtelektrische Versuche: 1. Über die lichtelektrische Empfindlichkeit der Alkalimetalle Na, K, Rb. 2. Über die Einleitung photoelektrischer Ströme durch polarisiertes Licht. 3. Über die Auslösung elektrischer Schwingungen in verdünnten Gasen durch Licht. 4. Über die lichtelektrische Empfindlichkeit von Flußspatvarietäten. W. A. **52** (1894), 433—454. p. 26. 28. 30.
52. — Lichtelektrische Untersuchungen an polarisiertem Lichte. a) Berl. Ber. 1895, I., 209—216.— b) W. A. **55** (1895), 684—700. p. 12. 30.
53. — Über die angebliche Zerstreuung positiver Elektrizität durch Licht. W. A. **57** (1896), 24—33. p. 34.
54. — Über den Einfluß des Lichtes auf die Form der Entladung einer Influenzmaschine. Ibid. 401—407. p. 10.
55. — Über eine lichtelektrische Nachwirkung der Kathodenstrahlen. W. A. **59** (1896), 487—496. p. 28.
56. — Über die Abhängigkeit des photoelektrischen Stromes vom Einfallswinkel u. der Schwingungsrichtung des erregenden Lichtes u. seine Beziehung zu der Absorption des Lichtes an der Kathode. W. A. **61** (1897), 445—465. p. 31.
57. — Über das photoelektrische Verhalten von Salzen, die durch Erhitzen in Alkalimetalldämpfen gefärbt sind. W. A. **62** (1897), 599—602. p. 28.
58. — Über einen Demonstrationsapparat zu lichtelektrischen Versuchen in polarisiertem Lichte. Sep. ohne Citat, 1899, 5 pp. [B. **23** (1899), 1051—1052]. p. 31.
59. — Notiz über die photoelektrische Wirksamkeit der durch Becquerelstrahlen gefärbten Salze. Phys. ZS. **4** (1902), 113—114 [B. **27** (1903), 863]. p. 28.
60. — Über eine verbesserte Form des Zinkkugelphotometers zur Bestimmung der ultravioletten Sonnenstrahlung. Phys. ZS. **5** (1904), 238—241. p. 24.
61. **A. Garbasso.** Zwei Modelle für einen elektrischen Entladungsvorgang in Gasen. Phys. ZS. **2** (1900), 49—52. p. 11.
62. — Wirkung des Sonnenlichtes auf die Schlagweite der Funken in Luft. Nuov. Cim. (5) 2 (1901), 15—19 [B. **26** (1902), 422]. p. 7.
63. **H. Geitel.** Beobachtungen, betr. die elektrische Natur der atmosphärischen Niederschläge. Verhandl. d. Ges. Deutsch. Naturf. u. Ärzte. Halle 1892, 25—28. [B. **16**, 697]. p. 24.
64. — Referat über „*F. Exner*, über die neueren Forschungen auf dem Gebiete der atmosphärischen Elektrizität“. Phys. ZS. **1** (1900), 568—570. p. 24.
65. **von Geitler.** Phys. ZS. **1** (1900), 620 (Bemerkung zu no. 87). p. 5,
66. **A. Gockel.** Luftelektrische Untersuchungen. Collectanea Friburgensia **4** (1902), 55 pp. [Phys. ZS. **4** (1903), 359; B. **27** (1903), 101]. p. 24.
67. **S. Guggenheimer.** Zur Theorie der Funkenentladung. Phys. ZS. **2** (1901), 706—707. p. 14.
68. **K. E. Guthe.** Über die Funkenentladung bei schnellen Oszillationen. D. A. **5** (1901), 818—828. p. 14.
69. **W. Hallwachs.** Über den Einfluß des Lichtes auf elektrostatisch geladene Körper. W. A. **33** (1888), 301—312. p. 16. 28. 36.
70. — Über die Elektrisierung von Metallplatten durch Bestrahlung mit elektrischem Lichte. W. A. **34** (1888), 731—734. p. 36.
71. — Über den Zusammenhang des Elektrizitätsverlustes durch Beleuchtung mit der Lichtabsorption. W. A. **37** (1889), 666—675. p. 22. 26. 29.

72. **W. Hallwachs.** Lichtelektrische Versuche. Tagebl. d. 62. Naturforscherverв. Heidelberg 1889, 214. p. 31. 37.
73. — Untersuchung einer Fehlerquelle bei der lichtelektrischen Erregung. W. A. **40** (1890), 332—337. p. 37.
74. — Bemerkungen zu einem Prioritätsanspruche des Hrn. *Righi*. Ibid. 338—342. p. 36. 37.
75. — Vorlesungsversuch zum Nachweis der lichtelektrischen Erregung. Ibid. 343—344. p. 37. 38.
76. — Photogr. Arch. 1896, 289 (cit. nach *v. Schweidler*, 145).
77. — Über die Strahlung des Lichtbogens. D. A. **13** (1904), 38—64. p. 33.
78. — Lichtelektrische Ermüdung und Photometrie. Phys. ZS. **5** (1904), 489—499. p. 32.
79. **P. de Heen.** Deutung einiger himmlischen und terrestrischen Phänomene. Ciel et Terre **17** (1896), 368—369 [B. **21** (1897), 268].
80. **R. von Helmholtz u. F. Richarz.** Über die Einwirkung chemischer und elektrischer Prozesse auf den Dampfstrahl etc. W. A. **40** (1890), 161—202. p. 41.
81. **Henry.** Versuche über die Wirkung von ultraviolettem Lichte auf die Leitfähigkeit von Joddampf. Proc. Cambr. Phil. Soc. **9** (1897), 319—322 [B **22** (1898), 169]. p. 35.
82. **H. Hertz.** a) Über einen Einfluß des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung. W. A. **31** (1887), 983—1000. — b) Gesammelte Werke (2. Aufl.), Bd. II, 69—86, 288—289. p. 4. 5. 7. 8. 18.
83. — Über die Einwirkung einer geradlinigen elektrischen Schwingung auf eine benachbarte Strombahn. W. A. **34** (1888), 155—170. p. 9.
84. **Th. Homén.** Über die Elektrizitätsleitung der Gase. W. A. **38** (1889), 172—213. p. 12.
85. **M. Hoor.** Über den Einfluß des ultravioletten Lichtes auf negativ elektrisch geladene Konduktoren. Wien. Ber. **97** (1888), 719—733. p. 28.
86. — Über den Einfluß des ultravioletten Lichtes auf elektrische Ladungen und Entladungen. Exn. Rep. **25** (1889), 91—118 [B. **13**, 731]. p. 22. 29. 31. 36. 38. 40.
87. **J. Humphreys.** Über die Beeinflussung der Funkenlänge einer elektrischen Influenzmaschine durch einen kleinen Funken auf der negativen Seite. Physical Review **10** (1900), 311—316 [B. **24**, 1333]. — S. a. Phys. ZS. **1** (1900), 573. p. 5.
88. **G. Jaumann.** Inkonstanz des Funkenpotentials. a) Wien. Ber. **104** (1895), 7—36. — b) W. A. **55** (1895), 656—683. p. 18. 30.
89. — Longitudinales Licht. a) Wien. Ber. **104** (1895), 747—792. — b) W. A. **57** (1896), 147—184.
90. — Zu den Bemerkungen von Hrn. *R. Swyngedauw* über elektrische Entladung. W. A. **62** (1897), 396—406.
91. **J. J. Károly.** Zur Demonstration des gegenseitigen Einflusses zweier Funkenstrecken. Ibid. 612—615. p. 11.
92. **W. Kaufmann.** Elektrodynamische Eigentümlichkeiten leitender Gase. D. A. **2** (1900), 158—178. p. 11. 14.
93. **J. Klemenčič.** Wie no. 91. W. A. **59** (1896), 63—65. p. 11. 46.
94. **O. Knoblauch,** Über die Zerstreuung elektrostatischer Ladungen durch Belichtung. ZS. f. phys. Chem. **29** (1899), 527—545 [B. **23**, 847]. p. 27.
95. **H. Kreusler.** Über den photoelektrischen Effekt in der Nähe des Entladungspotentials. Verh. d. Physikal. Ges. Berlin **17** (1898), 86—91 [B. **22**, 698]. p. 20.
96. — Über den photoelektrischen Effekt in der Nähe des Funkenpotentials und eine hierauf beruhende Methode zur Photometrie des ultravioletten Lichtes. Dissert. Berlin 1901, 48 pp. — S. a. D. A. **6** (1901), 398—411 u. 412—423. p. 27. 32.
97. **E. Ladenburg.** Untersuchungen über die entladende Wirkung des ultravioletten Lichtes auf negativ geladene Metallplatten im Vakuum. Dissert. Leipzig 1903, 28 pp. — S. a. D. A. **12** (1903), 558—578. p. 22. 27. 31. 32.
98. **A. Lampa.** Bemerkung zu der Theorie der atmosphärischen Elektrizität des Hrn. *Arrhenius*. Anzeiger d. k. Akad. d. Wiss. in Wien **27** (1890), 79—81 [B. **15** (1891), 384]. p. 28.
99. **W. Lebedinsky.** Zwei Fälle einer Einwirkung des ultravioletten Lichtes auf den Funken. Journ. Elektritschestwo 1900, 105 [B. **24**, 1017]. p. 11.
100. — Über die Wirkungsart des ultravioletten Lichtes auf die Entladung zwischen Spitze und Kugel. Ibid. 148—149 [B. **25** (1901), 156]. p. 11. 30.
101. **Ph. Lenard.** Erzeugung von Kathodenstrahlen durch ultraviolettes Licht. a) Wien. Ber. **108** (1899), 1649—1666. — b) D. A. **2** (1900), 359—375. p. 39. 41. 42.
102. — Über Wirkungen des ultravioletten Lichtes auf gasförmige Körper. D. A. **1** (1900), 486—507. p. 35.

103. **Ph. Lenard.** Über die Elektrizitätszerstreuung in ultraviolett durchstrahlter Luft. D. A. **3** (1900), 298—319. p. 35.
104. — Über die lichtelektrische Wirkung. D. A. **8** (1902), 149—198. p. 31. 43.
105. — Über die Beobachtung langsamer Kathodenstrahlen mit Hilfe der Phosphoreszenz und über Sekundärentstehung von Kathodenstrahlen. D. A. **12** (1903), 449—490. p. 32. 42.
106. — Über die Absorption von Kathodenstrahlen verschiedener Geschwindigkeit. Ibid. 714—744. p. 43.
107. — Über sekundäre Kathodenstrahlung in gasförmigen und festen Körpern. D. A. **15** (1904), 485—508.
108. **Ph. Lenard u. M. Wolf.** Zerstäuben der Körper durch das ultraviolette Licht. W. A. **37** (1889), 443—456. p. 41.
109. **Lodge.** Photoelektrische Undichtigkeit (leakage). Nature **50** (1894), 406.
110. **C. A. Mebius.** Galvanometrische Messungen über den Einfluß, welchen ein elektrischer Funke auf einen anderen ausübt. K. Svenska Vet.-Ak. Handl. **14** (1888), I., no. 10 [B. **18** (1894!), 608—609].
111. — Versuche mit einem elektrischen Funken und einer kleinen Flamme. a) K. Svenska Vet.-Ak. Handl. **15** (1889), I., no. 4, p. 80 [B. **14** (1890), 204]. — b) Exn. Rep. **26** (1890), 221—246.
112. **E. Merritt.** Der Einfluß des Lichtes auf die Zerstreuung von Elektrizität. Science **4** (1896), 102—103. 853—865, 890—900 [B. **21** (1897), 442].
113. — Ein Vorlesungsversuch, um den Einfluß des Ultraviolett auf die Funkenentladung zu zeigen. Physical Review **5** (1897), 306—309 [B. **22** (1898), 245]. p. 8.
114. **E. Merritt u. O. M. Stewart.** Die Entwicklung von Kathodenstrahlen durch ultraviolettes Licht. Physical Review **11** (1900), 230—250.
115. — Über photoelektrische Kathodenstrahlen. Phys. ZS. **1** (1900), 338—340 [B. **24**, 844]. p. 42.
116. **E. Meyer.** Über die Absorption der ultravioletten Strahlung in Ozon (Ausz. a. d. Berliner Dissert.). D. A. **12** (1903), 849—859. p. 27.
117. **A. Naccari.** Wirkung der elektrischen Funken auf elektrische Konduktoren. Atti di Torino **24** (1888/89), 131—138 [B. **13** (1889), 421].
118. — Über die Dispersion der Elektrizität durch die Wirkung des Phosphors u. elektrischer Funken. Atti di Torino **25** (1890), 252—257 (B. **14**, 665).
119. — Über den Übergang der Elektrizität von einem Leiter an die Luft bei kleiner Potentialdifferenz. Atti di Torino **31** (1895), 67—83 [B. **20** (1896), 567].
120. **F. Narr.** Über die Wirkung des Lichtes auf statische Ladungen. W. A. **34** (1888), 712—719. p. 38.
121. **A. Nodon.** Über die durch Sonnenstrahlen hervorgerufenen elektrischen Erscheinungen. C. R. **109** (1889), 219—221 [B. **13**, 976]. p. 37.
122. — Direkte Erzeugung von X-Strahlen in der Luft. C. R. **132** (1901), 770—772 [B. **25**, 630].
123. — Untersuchungen über die aktinoelektrischen Erscheinungen. C. R. **134** (1902), 1491—1493 [B. **26**, 962].
124. **A. Orgler.** Zur Kenntnis des Funkenpotentials in Gasen. D. A. **1** (1900), 159—174. p. 14.
125. **J. Precht.** Absolute Messungen über das Ausströmen der Elektrizität aus Spitzen. W. A. **49** (1893), 150—183. p. 11.
126. — Magnetisches Verhalten elektrischer Entladungen in Luft von normalem Drucke. W. A. **66** (1898), 676—697. p. 11.
127. **A. Righi.** Über einige (neue) durch Strahlung hervorgerufene elektrische Erscheinungen. Note I. a) Rend. Linc. (4) **4** (1888), I. Sem., 185—187. — b) Journ. de Phys. (2) **7** (1888), 153—155. — c) Phil. Mag. (5) **25** (1888), 314—316 [B. **12**, 286]. p. 18. 33. 35.
128. — Über die durch ultraviolette Strahlen hervorgerufenen elektrischen Erscheinungen. C. R. **106** (1888), 1349 [B. **12**, 605].
129. — Wie no. 127. Note II, III, IV. Rend. Linc. (4) **4** (1888), I. Sem., 498, 578, 691—694 [B. **12**, 721]. p. 33. 38. 39.
130. — Wie no. 127. I. Abhandlung. Memoria di Bologna (4) **9** [1]) (1888), 369.
131. — Wie no. 127. C. R. **107** (1888), 559—561 [B. **13** (1889), 40]. p. 27. 37. 38. 39. 40.
132. — Wie no. 127. Note V, VI. Rend. Linc. (4) **4** (1888), II. Sem., 16—19, 66—67 [B. **13** (1889), 189]. p. 22. 36. 37

[1]) Bei *v. Schweidler* [212, p. 359] steht versehentlich Bd. **10**.

133. **A. Righi.** Über die durch Strahlen erzeugten elektrischen Ladungen. Rend. Linc. (4) **5** (1889), 331—334 [B. **13**, 566]. p. 38. 40.

134. — Wie no. 127. II. Abhandlung. Atti del R. Ist. Veneto (6) **7** (1889), 25 pp. [B. **13**, 567]. p. 22. 40.

135. — Wie no. 127. III. Abhandlung. Ibid. 54 pp. [B. **13**, 976]. p. 38.

136. — Wie no. 127. Exn. Rep. **25** (1889), 380—382 [B. **14** (1890), 68]. p. 22. 33. 40.

137. — Über die Messung elektromotorischer Kontaktkräfte von Metallen in verschiedenen Gasen mit Hilfe der ultravioletten Strahlen. Rend. Linc. (4) **5** (1889), 860—862 [B. **14** (1890), 69]. p. 19. 27.

138. — Über die elektrische Konvektion. Rend. Linc. (4) **6** (1890), I. Sem., 151—156 [B. **14**, 663]. p. 40.

139. — Über die bei der photoelektrischen Konvektion durchlaufenen Trajektorien und einige neue elektrische Erscheinungen in verdünnter Luft. Ibid. II. Sem., 81—86 [B. **14**, 1167]. p. 40.

140. — Über die photoelektrische Konvektion und andere elektrische Erscheinungen in verdünnter Luft. Mem. di Bologna (4) **10** (1890), 85—114 [B. **14**, 1167]. p. 20. 38. 39. 40.

141. — Erwiderung auf die Bemerkungen des Hrn. *Hallwachs*. W. A. **41** (1890), 505 [1])—506. p. 37. 38.

142. **E. Rutherford.** Die Entladung einer Ladung durch ultraviolettes Licht. Proc. Cambr. Phil. Soc. **9** (1898), 401—416 [B. **22**, 895]. p. 19. 41.

143. **G. C. Schmidt.** Über das lichtelektrische Verhalten des Flußspates und des Selens. W. A. **62** (1897), 407—414. p. 28.

144. — Über die Beziehung zwischen Fluoreszenz und Aktinoelektrizität. W. A. **64** (1898), 708—724. p. 29.

145. **E. von Schweidler.** Über die lichtelektrischen Erscheinungen. I. Mitteilung. 1. Potentialgefälle im belichteten Kondensator. 2. Versuche über die Abhängigkeit des photoelektrischen Stromes von der Intensität des elektrischen Feldes. Wien. Ber. **107** (1898), 881—909 [B. **23** (1899), 513]. p. 21. 39. 48.

146. — Wie no. 145. II. Mitteilung. Wien. Ber. **108** (1899), 273—279 [B. **23**, 585]. p. 20. 32.

147. — Zur Theorie unipolarer Gasentladungen. Ibid. 899—904.

148. — Untersuchungen über den photoelektrischen Strom in Kaliumzellen. Phys. ZS. **4** (1902), 136—137 [B. **27** (1903), 357]. p. 21.

149. — Über Variationen der lichtelektrischen Empfindlichkeit. Wien. Ber. **112** (1903), 974—984 [B. **28** (1904), 934]. p. 32.

150. **A. Sella.** Untersuchungen über die Wirkung der aktiven Strahlungen auf die Natur der Entladung. Rend. Linc. (5) **6** (1897), II. Sem., 184—191 [B. **22** (1898), 594]. p. 11.

151. — Ein Versuch über die Übertragung des Schalles. Nuov. Cim. (4) **8** (1898), 261—263 [B. **23** (1899), 622]. p. 16.

152. — Zur Demonstration des Einflusses des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Funkenentladung. ZS. f. phys. u. chem. Unt. **13** (1900), 90—91.

153. **Sella u. Majorana.** Wirkung der Röntgenstrahlen und des ultravioletten Lichtes auf die explosive Entladung in Luft. Rend. Linc. (5) **5** (1896), I. Sem., 323—327 [B. **20**, 416]. p. 11.

154. **E. Simon.** Über den Einfluß der Strahlen großer Brechbarkeit auf das elektrische Leitungsvermögen verdünnter Gase. Wien. Ber. **104** (1895), 565—593 [B. **20** (1896), 569]. p. 35.

155. **L. Sohnke.** Neuere Theorien der Luft- und Gewitterelektrizität. Himmel und Erde 1889, 28 pp. [Bbl. **13**, 739]. p. 35.

156. **J. Stark.** Der Ionenstoß als Ionisator in neueren Versuchen. D. A. **8** (1902), 815—828. p. 19. 21.

157. **A. Stoletow.** Über eine Art durch ultraviolette Strahlen erzeugter elektrischer Ströme. C. R. **106** (1888), 1149—1152 [B. **12**, 605]. p. 19. 22. 33.

158. — Über die aktinoelektrischen Ströme durch die Luft. Ibid. 1593—1595 [B. **12**, 728]. p. 28. 29. 33.

159. — Fortsetzung der aktinoelektrischen Versuche. C. R. **107** (1888), 91—92 [B. **12**, 723]. p. 19. 29.

160. — Über die aktinoelektrischen Erscheinungen. C. R. **108** (1889), 1241—1243 [B. **13**, 902]. p. 20. 29. 30. 40.

161. — Aktinoelektrische Untersuchungen. Journ. d. russ. phys.-chem. Ges. (7—8) **21** (1889), 159—207 [B. **14** (1890), 322]. p. 30. 33. 39.

162. — Über die aktinoelektrischen Ströme in verdünnter Luft. Journ. d. Phys. (2) **9** (1890), 468—473 [B. **15** (1891), 233]. p. 19. 20.

[1]) Nicht 405 [212, p. 360].

163. **A. Stoletow.** Aktinoelektrische Untersuchungen. Aus no. 161 mit Änderungen und Zusätzen übersetzt von *F. Hoffmann*. Physikalische Revue 1 (1892), 723—780. p. 19. 21. 22. 29. 30. 31. 36. 38.

164. **A. Stragliati.** Über den Einfluß der Strahlungen auf die Schlagweiten in der Luft. Riv. Scient.-Industr. 32 (1900), 97—100, 105—106 [B. 25 (1901), 74]. p. 11.

165. **R. Swyngedauw.** Über die statischen und dynamischen Entladungspotentiale. C. R **121** (1895), 118—121 [B. **19**, 920]; ibid. 195—198 [B. **19**, 921, u. **20** (1896), 153]. p. 13.

166. — Differenz der Wirkung des ultravioletten Lichtes auf explosive statische u. dynamische Potentiale. C. R. 122 (1896), 131—134 [B. 20, 660].

167. — Über die Erniedrigung der explosiven dynamischen Potentiale durch das ultraviolette Licht u. die Deutung gewisser Versuche von Hrn. *Jaumann*. Ibid. 1052—1054 [B. **20**, 569]. p. 13.

168. — Über gewisse Versuche von Hrn. *Jaumann*. L'éclair. électr. 2 (1897), 5—11 [B. **21**, 439]. p. 13.

169. — Über die Funkenentladung. Antwort an Hrn. *G. Jaumann*. W. A. **65** (1898), 543—552. p. 13.

170. — Über die Verzögerung der Entladung. Journ. d. Phys. (3) **9** (1900), 487—492 [B. **24**, 1335]. p. 14.

171. — Über den Hertzschen Erreger. I. Teil. Journ. d. Phys. (4) 2 (1903), 14—36 [B. **27**, 777].

172. — Einfluß der Ladungsgeschwindigkeit eines Erregers auf die Verlängerung seiner Explosivdistanz durch ultraviolettes Licht. Ibid. 108—121 [B. **27**, 956].

173. **J. J. Thomson.** Über die Masse der Träger der negativen Elektrisierung in Gasen von niederen Drucken. Phys. ZS. **1** (1899), 20—22. p. 42.

174. — Über die Massen der Ionen in Gasen bei niederen Drucken. Phil. Mag. (5) **48** (1899), 547—567.

175. **J. S. Townsend.** Die Diffusion der Ionen in Gasen. Phil. Trans. **193** (1899), 129—158 [B. **24** (1900), 567].

176. — Über Leitfähigkeit in Gasen, erzeugt durch die Bewegung negativ geladener Ionen. a) Phil. Mag. (6) **1** (1901), 198—227 [B. **25**, 810]. — b) Phys. ZS. **2** (1901), 483—488. p. 19. 21.

177. — Die in Gasen durch ultraviolettes Licht erzeugte Leitfähigkeit. Phil. Mag. (6) **3** (1902), 557—576 [B. **26**, 963].

178. — Wie no. 177. Phil. Mag. (6) **5** (1903), 389—398 [B. **28** (1904), 44].

179. **W. M. Varley.** Über die lichtelektrische Entladung von Metallflächen in verschiedenen Gasen. Proc. Roy. Soc. **72** (1903), 11—12 [B. **28** (1904), 328]. p. 21.

180. **P. Villard.** Über die Entladung elektrischer Körper u. die Bildung von Ozon. C. R. **130** (1900), 125—127 [B. **24**, 298].

181. **J. H. Vincent.** Die Wirkung ultravioletten Lichtes auf feuchte Luft. Proc. Cambr. Soc. **12** (1904), 305 [B. **28**, 739].

182. **Wanka.** Über ein neues Entladungsexperiment. Abhandl. d. Deutsch. math. Ges. Prag 1892, 57—63 [B. **17** (1893), 1103]. p. 13.

183. **E. Warburg.** Über die Wirkung des Lichtes auf die Funkenentladung. W. A. **59** (1896), 1—16. — S. a. Berl. Ber. 1896, 5. März. p. 12. 13.

184. — Über die Verzögerung bei der Funkenentladung. W. A. **62** (1897), 385—395. — S. a. Berl. Ber. 1897, 18. Febr. p. 14.

185. — Demonstration der Verzögerung bei der Funkenentladung. Verhandl. d. Phys. Ges. Berlin **17** (1898), 92 [B. **23** (1899), 512].

186. — Über die Wirkung der Strahlung auf die Funkenentladung. a) Verhandl. d. Deutsch. Phys. Ges. 2 (1900), 212—217 [B. **25** (1901), 73]. — b) D. A. **5** (1901), 811—817. p. 13.

187. **E. Wiedemann u. H. Ebert.** Über den Einfluß des Lichtes auf die elektrischen Entladungen. W. A. **33** (1888), 241—264. p. 7 ff.

188. — Über elektrische Entladungen in Gasen u. Flammen. W. A. **35** (1888), 209—264. p. 8. 9.

189. **E. Wiedemann u. G. C. Schmidt.** Elektrische u. thermische Messungen an Entladungsröhren. W. A. **66** (1898), 314—340. p. 35.

190. **C. T. R. Wilson.** Über die Erzeugung von Nebel durch die Wirkung des ultravioletten Lichtes auf feuchte Luft. Proc. Cambr. Soc. **9** (1898), 392—393. p. 35. 42.

191. — Über die in Gasen durch die Wirkung von Röntgenstrahlen, Uranstrahlen, ultraviolettes Licht und andere Agentien erzeugten Kondensationskerne. Phil. Trans. **192** (1899), 403—453. p. 42.

192. **Th. Wulf.** Beiträge zur Kenntnis der lichtelektrischen Wirkung. D. A. **9** (1902), 946—963. p. 27.

193. **J. Zeleny.** Über Luft, die durch die entladende Wirkung des ultravioletten Lichtes elektrisiert ist. Phil. Mag. (5) 45 (1898), 272—273 [B. 22, 355]. p. 39.

194. — Der Einfluß der Temperatur auf den photoelektrischen Effekt. Physical Review 12 (1901), 321—339 [B. 25, 862]. p. 30.

195. **R. Zendig.** Lichtelektrische Wirkungen bei hohen Potentialen. Dissert. Erlangen 1897 [B. 22 (1898), 52]. p. 9, 12.

196. **K. Zickler.** Lichtelektrische Telegraphie. Telegraphie mittels ultravioletten Lichtes. Weitere Versuche über die lichtelektrische Telegraphie. Elektrotechn. ZS. 19 (1898), 474—476, 487—489, 826—827 [B. 22, 898; 23 (1899), 58, 125]. p. 14ff.

Aus dem Literaturverzeichnisse des Herrn *v. Schweidler* [212] trage ich die folgenden, in dem meinigen fehlenden und in meiner Abhandlung nicht berücksichtigten Arbeiten nach:

197. **H. Bordier.** Éclair. électr. 32 (1902), 353. Ultraviolettes Licht und Funkenentladung.

198. **H. Dufour.** Bull. soc. Vaud. (4) 37 (1901), XXXIV. Strahlung des Bogens.

199. **R. Groselj.** Wien. Ber. 113 (1904), 1129. Spezifische Geschwindigkeit lichtelektrischer Ionen.

200. **S. Guggenheimer u. A. Korn.** Phys. ZS. 5 (1904), 95. Divergenz von Elektroskopblättchen durch Belichtung.

201. **Lamotte.** Journ. d. phys. (4) 1 (1902), 778. Erzeugung von Kathodenstrahlen durch ultraviolettes Licht.

202. **W. Lebedinsky.** Journ. d. russ. phys.-chem. Ges. 33 (1901), 48. Eigenschaften des elektrischen Funkens.

203. — Journ. d. phys. (4) 2 (1903), 249. Wirkung verschiedener Strahlen auf Funkenentladung.

204. **G. Le Bon.** Rev. scientif. 18 (1902), 577, 614, 647. Die Dissoziation der Materie.

205. **Th. Lyman.** Proc. Cambr. phil. soc. 12 (1903), 45. Kaliumamalgamkathode in Vakuumzelle.

206. **R. Michin.** Rep. Brit. ass. Glasgow 1901, S. 532. Photoelektrische Zellen.

207. **O. Nothdurft.** Dissert. Freiburg i. B. 1904. *Le Bons* schwarzes Licht und Hallwachseffekt.

208. **F. Paschen.** Phys. ZS. 5 (1904), 161. Wie no. 200. (Zurückführung auf Radiometerwirkung.)

209. **J. Schincaglia.** N. Cim. (5) 8 (1904), 81. Einfluß der Elektroden-Distanz und -Krümmung bei Auslösung von Funken durch Licht.

210. **E. von Schweidler.** Wien. Ber. 113 (1904), 1120. Zur Theorie des photoelektrischen Stromes.

211. **R. Swyngedauw.** Bull soc. Franç. de phys. 1902, S. 240. Explosivdistanz und ultraviolettes Licht.

Dazu kommt:

212. **E. von Schweidler.** Die lichtelektrischen Erscheinungen (die Emission negativer Elektronen von belichteten Oberflächen). Jahrb. d. Radioaktivität u. Elektronik 1 (1904), 358—400. p. 38, 48, 48, 49, 53, 54.

Auf Arbeiten endlich, die in no. 212 nicht genannt sind, beziehen sich nachstehende Nummern meines Verzeichnisses: 1, 3, 4, 9, 17, 25, 30, 34, 35, 36, 40, 61, 63, 64, 65, 66, 79, 83, 84, 87, 92, 113, 116, 117, 119, 122, 123, 126, 128, 150, 151 155, 156, 163, 168, 169, 171, 175, 176, 180, 185, 189, 190, 191. Auf no. 30 und no. 168, worin die Untersuchungen von *Buisson* bezw. *Stoletow* am ausführlichsten dargestellt sind, darf ich vielleicht besonders aufmerksam machen.